

**Р. Б. БАЙМАХАН¹, А. Р. БАЙМАХАН², А. А. СЕЙНАСИНОВА³,
Г. М. БАЙМАХАНОВА⁴, З. М. АБДИАХМЕТОВА^{2*}**

¹*Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Жолдасбекова,
г. Алматы, Казахстан*

²*Казахский национальный университет имени аль - Фараби, г. Алматы, Казахстан*

³*Академия гражданской авиации, г.Алматы, Казахстан*

⁴*Южно-Казахстанский государственный педагогический университет,
г. Шымкент, Казахстан*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ И ИССЛЕДОВАНИЯ НАКРЕНЕНИЯ ЗДАНИЙ НА ГРУНТОВОМ ОСНОВАНИИ АНИЗОТРОПНОГО СТРОЕНИЯ

Кратким обзором раскрывается состояние проблемы об огромных ущербах последствий обрушений современных высотных зданий в мире и в связи с этим неизученности грунтовых оснований анизотропного строения.

Предлагается расчетная математическая модель грунтовой среды сложного анизотропного строения и алгоритмы ее применения в практических расчетах.

Приводятся результаты исследования и их анализ, выясненные закономерности деформированных наклоненных состояний системы, состоящей из оснований – фундамента и зданий в зависимости от величины углов сложного наклонного слоистого основания. В виде таблиц и большого количества рисунков показываются выясненные основные закономерности наклонения зданий и сооружений, имевшие место в больших городах Казахстана, например, в городе Алматы.

Ключевые слова: *грунты, анизотропия, модель, деформация, основание, обрушение, разрушение.*

Введение. Современное строительство городских зданий характеризуется высотой и прочностью конструкционной, фундаментной и грунтовой оснований. При этом грунты могут быть совершенно различные как по составу, так и по прочности. К плохим грунтам относятся рыхлые, засоленные, находящиеся в худших гидрогеологических условиях, также неоднородные по составу, анизотропностью строений и другие. Несмотря на предварительную изученность строительной площадки с соблюдением требований строительных законов – СНиП, продолжают процессы наклонения и обрушения городских высотных домов и зданий с разными скоростями. К сожалению, количество таких обрушений и разрушений в мире продолжается по сей день. Например, в 2011 году в Шанхае обрушился 13-этажный дом. Через 2 года в 2013 году такая же участь постигла все дома целого микрорайона «Бесоба» города Караганды Казахстана. 1 июня в 2016 году монолитный жилой дом №136 в микрорайоне Алгабас-6 Алатауского района города Алматы наклонился на 37 сантиметра. 200 жильцов дома были эвакуированы из-за угрозы обрушения. Наблюдалась явная просадка грунта. Через год – 16 июня 2017 г. – наклонился еще один 9-ти этажный дом, на этот раз уже на 40 см.

* E-mail корреспондирующего автора: zukhra.abdiakhmetova@gmail.com

Таких примеров во всем мире бесчисленное множество. Многие из них происходили с предварительными накренениями без каких-либо землетрясений.

Целью написания данной статьи является обзорно показать характер обрушений и обратить внимание на степень изученности вопроса о закономерностях деформации рыхлых и водонасыщенных грунтов строительной площадки, который часто имеет анизотропные строения. Так как кроме некоторых предположений о плохих грунтовых условиях причины истинной картины процесса обрушения с предварительными накренениями еще не изучены, авторы предлагают изучить процессов накренения с помощью создания модели грунтовой среды, которые имеют наклоннослоистое строение, численными методами механико – математического моделирования и выяснить картину деформированных состояний в зависимости от углов заложения слоев и от степени водонасыщенности.

Обзор обрушений современных зданий и моделей их исследования. Для установления типов и характеров обрушений современных высотных зданий и сооружений ниже на рисунках 1 показаны два примера из таких крупных событий. 29 июня 1995 года в Сеуле обрушилось здание торгового центра Сампунг (Sampoong). Эта была крупнейшая техногенная катастрофа в истории Южной Кореи. В течение 20 секунд южное крыло полностью обрушилось, убив 502 человека и завалив обломками ещё 1500 [1]. На левом рисунке 1 показана картина обрушения торгового центра Сампунг в Сеуле в 1995г.



Рисунок 1 – Процесс обрушения здания торгового центра в Южной Корее и в Бангладеш

Еще одно, более крупное обрушение высотных зданий в истории, произошло 24 апреля 2013 года в Бангладеш, которое случайно совпало по времени с карагинскими обрушениями, эпизод которого показан на правом рисунке 1. На сегодняшний день эта авария является самой значительной во всей мировой истории. В результате обрушения погибло 1129 человек и более 2500 получили ранения. За считанные секунды огромный 8-этажный торгово-промышленный центр Рана Плаза рухнул, оставив неповрежденным только первый этаж.

В основании фундаментов находилось подземное озеро, никаких мер по защите строительных конструкций выполнено не было. Из рисунков нетрудно заметить, что перед обрушениями здания были заметно накрены. Это говорит о неравномерности деформации осадка грунта основания. Практически все дома карагинского ми-

крорайона обрушались медленно через стадии накрещения. Точно такой же характер имели алматинские 9-ти этажки в микрорайоне «Зердели». В СНиПах [2], [3], [4], [5], которые являются главными строительными законами, наиболее полный учет отсутствует. Причиной тому является сложность решение такой задачи аналитическими методами.

Если в изотропной среде упругое состояние массива определяется двумя постоянными - коэффициентом Пуассона ν и модулем Юнга - E , то состояние анизотропной среды, в частности транслопной – определяется пятью постоянными. Ими являются модули два Юнга E_1 , E_2 , модуль сдвига, два коэффициента Пуассона – ν_1 и ν_2 . Здесь даже практически невозможно моделировать конструкционные особенности инженерных сооружений. Поэтому реальные ответственные инженерные сооружения моделируются и решаются только численными методами. Первые работы по учету анизотропии грунта и основанию систематизированы в работе А.К.Бугрова, А.И. Голубева [6]. Некоторые из них перечислены в книге В.А. Бабешко, В.А. Волосухина, В.П. Дыба [7]. Например, вопросам проектирования оснований и фундаментов зданий и сооружений фундаментов высотных зданий посвящена работа В.К. Федулова, Л.Ю. Артемьевой [8]. Некоторые отдельные вопросы фундаментов высотных зданий имеются в книге О.А. Шулятьева [9]. По экспериментальной части методы испытания грунтовых оснований, материалов и конструкций изложены в книге В.В. Лебедева, В.П. Ярцева, В.Г. Однолько [10]. Также в книге В.М. Антонова отражены некоторые вопросы экспериментальных исследований армированных оснований [11]. Исследованиям, связанным с выяснением характера разрушений различных фундаментных стальных конструкций, взаимодействующих с грунтовым основанием, посвящены следующие работы зарубежных авторов. В работе Behzad Kalantari [12] проведен большой обзор состояния фундамента, возведенного на рыхлых грунтах. J. Q. Liu и J. L. Liu [13] рассматривали характер бокового смещения мягких грунтов фундаментного основания. X.S. Chenga, G. Zhenga, Y. Diaoa, T.M. Huanga, C.H. Denga, Y.W. Leia, H.Z. Zhou [14] изучен механизм активного разрушения котлована, удерживаемого консольными смежными сваями. Если Akbar Pirmoz и Min (Max) Liu [15] моделированием конечными элементами анализируют разрушение котлованных стальных соединений, то Amir Hossein Arshian и Guido Morgenthal [16] изучают такие же разрушения трехмерных железобетонных каркасных конструкций. Анализ проведенного обзора показывает на отсутствие математической модели учета анизотропии грунта наклоннослоистого строения. В научно-практическом отношении необходимо поэтапно изучить и установить сначала закономерности деформаций грунтов строительных площадок с учетом анизотропии строения.

Разработка расчетной модели грунта анизотропного строения. Проведенный обзор огромного числа литературы показывает отсутствие математической модели грунтов наклоннослоистого строения, не говоря о разрушениях. Ж.С. Ержановым, Ш.М. Айталиевым, Ж.К. Масановым создана модель горных пород наклоннослоистого строения в связи с рассмотрением устойчивости горных выработок [17]. Такая модель наклоннослоистого горного массива вполне подходит и к массивам грунта аналогичного строения. На базе этой модели создаем расчетную конечноэлементную схему исследования упругой устойчивости подфундаментного грунтового слоя

в общем случае для наклоннослоистого строения. Как известно, из теории упругости компоненты деформаций и напряжений, являясь функцией перемещения, в плоской задаче имеют три составляющие в каждой расчетной точке плоской области. Компоненты напряжений представим через компоненты деформаций в виде [17]

$$\begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_z \\ \tau_{xz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{11}d_{12}d_{13} \\ d_{21}d_{22}d_{23} \\ d_{31}d_{32}d_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

где $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ – компоненты напряжения, $\varepsilon_x, \varepsilon_z, \gamma_{xz}$ – компоненты деформаций, матрица $[D]$ – элементами которого являются коэффициенты $d_{ij}, i = 1, 2, 3; j = 1, 2, 3$ является матрицей упругих характеристик. Компоненты деформации выразим через компоненты перемещения:

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}, \\ \varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z}, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\gamma_{xz} = \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}.$$

$$\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_x, \varepsilon_z, \gamma_{xz}\} \quad (3)$$

На рисунке 2 показано плоское сечение массива грунта, которое имеет анизотропное наклоннослоистое строение.



Рисунок 2 – К построению модели плоской сечений наклоннослоистого грунтового основания

Обобщенный закон Гука для плоского сечения массива грунтового основания слоистого строения по аналогии работы [17] имеет вид, который получен вычеркиваниями соответствующих строк и столбцов для перехода к плоскому случаю

$$\begin{aligned} \sigma_x &= c_{11}\varepsilon_x + c_{13}\varepsilon_z + c_{15}\gamma_{xz}, \\ \sigma_z &= c_{31}\varepsilon_x + c_{33}\varepsilon_z + c_{35}\gamma_{xz}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\tau_{xz} = c_{51}\varepsilon_x + c_{53}\varepsilon_z + c_{55}\gamma_{xz}$$

Как было сказано выше, закон Гука (4) содержит 5 независимых коэффициентов анизотропии. Согласно этой работе, Закон Гука для грунтового основания наклонно-слоистого строения ($\varphi \neq 0$) с учетом угла наклона φ имеет вид:

$$c_1 = \cos^2\varphi, c_2 = \sin^2\varphi, c_3 = \cos^4\varphi, c_4 = \sin^4\varphi, c_5 = \sin\varphi \cos\varphi, c_6 = \sin^2\varphi \cos^2\varphi. \quad (5)$$

$$c_0 = (1 + \nu_1)(n(1 - \nu_1) - 2\nu_2^2), c_{11} = c_{22} = (E_1(n - \nu_2^2))/c_0,$$

$$c_{13} = (\nu_2 E_1)/(n(1 - \nu_1) - 2\nu_2^2), \quad (6)$$

$$c_{33} = ((1 - \nu_1)E_1)/(n(1 - \nu_1) - 2\nu_2^2), c_{55} = G_2.$$

Выражения для коэффициентов упругости (1) переходят к следующему виду:

$$d_{11} = c_{11}c_3 + 2(c_{13} + 2c_{44})c_6 + c_{33}c_4, d_{12} = c_{13} + (c_{11} + c_{33} - 2c_{13} - 4c_{44})c_6,$$

$$d_{13} = (c_{11}c_1 - c_{33}c_2 - (c_{11} + 2c_{44})\cos 2\varphi)c_5, \quad (7)$$

$$d_{22} = c_{11}c_4 + 2(c_{13} + 2c_{44})c_6 + c_{33}c_3, d_{23} = (c_{11}c_2 - c_{33}c_1 + (c_{13} + 2c_{44})\cos 2\varphi)c_5,$$

$$d_{33} = c_{44} + (c_{11} + c_{33} - 2(c_{13} + 2c_{44}))c_6.$$

Если подставим значения выражений $c_{1...6}$ из (10) в последнее выражение, то получим

$$d_{11} = c_{11}\cos^4(\varphi) + c_{33}\sin^4(\varphi) + 2(c_{13} + 2c_{44})\sin^2(\varphi)\cos^2(\varphi),$$

$$d_{12} = c_{13} + (c_{11} + c_{33} - 2(c_{13} + 2c_{44}))\sin^2\varphi\cos^2\varphi,$$

$$d_{13} = (c_{11}c_1 - c_{33}c_2 - (c_{11} + 2c_{44})\cos 2\varphi)\sin\varphi\cos\varphi,$$

$$d_{22} = c_{11}\sin^4(\varphi) + 2(c_{13} + 2c_{44})\sin^2\varphi\cos^2\varphi + c_{33}\cos^4\varphi, \quad (8)$$

$$d_{23} = (c_{11}\sin^2\varphi - c_{33}\cos^2\varphi + (c_{13} + 2c_{44})\cos 2\varphi)\sin\varphi\cos\varphi,$$

$$d_{33} = c_{44} + (c_{11} + c_{33} - 2(c_{13} + 2c_{44}))\cos^2(\varphi)\sin^2(\varphi).$$

Для наклоннослоистой среды матрица упругих характеристик $[D]$ через коэффициенты упругости будет иметь вид

$$[D] = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} \\ d_{22} & d_{23} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Матрица упругости $[D]$, в отличие от горизонтальной слоистости, будет полностью заполненной, то есть нулевых элементов не будет. Количество независимых коэффициентов будет 6. С помощью алгоритмов (1) – (9) этой новой расчетной модели массива грунта, который имеет наклоннослоистое строение, мы можем составить уравнение равновесия МКЭ.

Составление уравнений равновесия МКЭ. По изложенным алгоритмам (1)-(8) составлена компьютерная программа счета. Краткий МКЭ алгоритм решения данной

задачи сводится к следующему. Основное разрешающее уравнение МКЭ – уравнение-равновесие имеет вид [18]

$$[K]\{U\} = \{P\}. \quad (10)$$

где $[K]$ – матрица жесткости системы; $\{U\}$, $\{P\}$ – вектора неизвестных перемещений и известных сил, которые формируются для рассматриваемого конечного элемента от весов вышележащих элементов и сводятся к узловым точкам. После решения системы уравнений (10) становятся известными составляющих вектора перемещений $\{U\}$. Компоненты деформаций и напряжений вычисляются с помощью следующих известных соотношений МКЭ

$$\{\varepsilon\} = [B]\{U\}, \quad (11)$$

$$\{\sigma\} = [D]\{\varepsilon\}, \quad (12)$$

где $\{\varepsilon\}^T = \{\varepsilon_x, \varepsilon_z, \gamma_{xz}\}$ – составляющие деформаций; $[B]$ – градиентная матрица; $\{U\} = \{u, v\}$ – вектор составляющих перемещений; $\{\sigma\}^T = \{\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}\}$ – вектор составляющих напряжений; $[D]$ – матрица упругих характеристик.

Решение задачи об определении закономерности деформаций здания и фундамента на наклонном основании. Для раскрытия истинной картины влияния «плохого грунта» на деформированные состояния системы «Здание – фундамент – основание» задачу решаем в следующей последовательности. Сначала определим деформированное состояние слоистого грунта строительной площадки в нетронутом виде в зависимости от величины углов наклонов слоев, то есть природных состояний. При этом размеры и форму конечной расчетной области назначаем исходя из размеров одной из будущего котлована трапецевидной формы. На втором шаге отдельно будем решать задачу о влиянии анизотропии грунта основания на величину и форму деформации фундаментной конструкции. На третьем шаге решим задачу об определении закономерности деформированных состояний всей системы, состоящей из здания, фундамента и оснований сложного в общем случае анизотропного строения.

Расчет деформированного состояния грунта строительной площадки анизотропного строения. Для проверки достоверности и точности решения задачи по предлагаемой модели расчета предварительно решена задача Шехтера, которая имеет аналитическое решение [19]. Смысл этой задачи сводится к следующему. На середину плиты бесконечной длины, лежащей на полуплоскости, приложена сосредоточенная нагрузка P . МКЭ представление этой задачи показано на рисунке 3. Данная задача близко отражает нашу задачу о системе «Фундамент-основание» и имеет точное решение. В работе приведены точные значения для вертикальной составляющей перемещения, которая равна: $w_z^{\text{Анал}} = 0,33$ на контакте плиты с грунтовым основанием.

В качестве теста эта задача решена нами методом конечных элементов для расчетной области, показанной на рисунке 3, при следующих геометрических размерах: $L = 100$ м, $h = 40$ м, $P = 100$ тонн. Упругие характеристики полуплоскости: $E = 1 \cdot 10^2$

МПа, $\nu = 0.4$ и фундаментной плиты с высотой 0,5 м: $E = 2.1 \cdot 10^4$ МПа, $\nu = 1.6$. Рассматриваемая система находится в условиях плоской деформации.

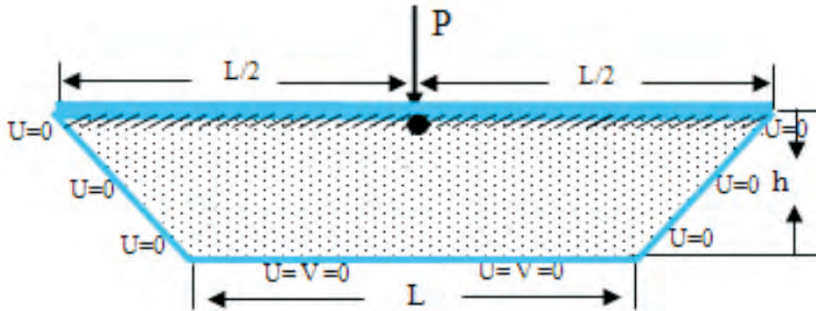


Рисунок 3 – Нагрузка фундаментной плиты бесконечной длины на упругой полуплоскости

На вертикальной оси симметрии под фундаментом на контактной точке, показанной черным кружочком, вертикальная составляющая перемещений: $w_z^{\text{Анал}} = 0,33$ см, что точно совпадает с ее аналитическим решением. В таблице 1. приведены значения физико-механических свойств реальных грунтов, которые действительно имеют анизотропные строения. На рисунке 4 показано поперечное сечение исследуемой области с граничными условиями в перемещениях.

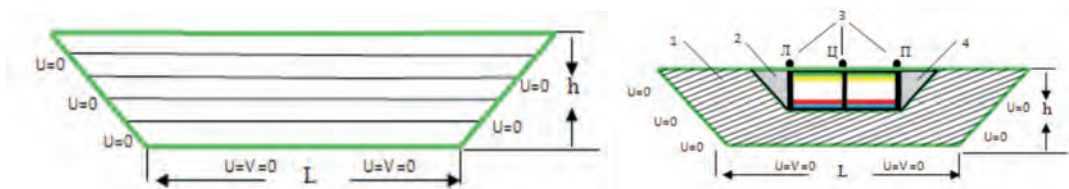


Рисунок 4 – Расчетная схема к определению полей деформации горизонтально слоистого грунта до разработки котлована (левый рисунок) и расчетная схема задачи фундамент – наклоннослоистое грунтовое основание (правый рисунок)

Размеры расчетной области, показанной на рисунке 4: высота фундамента 5 м, длина фундамента 15 м, ширина по основанию расчетной области на земной поверхности – 40 м, ширина основания расчетной области – 30 м, ширина закладочных материалов – 3 м, высота расчетной области – 15 м.

После этого проведены конечноэлементные исследования по выявлению закономерности деформированных состояний грунтов строительной площадки, углы наклонов для теоретического расчета меняются от нуля до 90° . В таблице 1. приведены значения физико-механических свойств реальных грунтов, которые действительно имеют анизотропные строения.

Таблица 1 – Физико-механические и прочностные свойства некоторых грунтов анизотропного строения [1]

| № п/п | Грунты | Модули Юнга, Мпа | | Коэффициенты Пуассона | | Модуль сдвига, Мпа | Объемный вес | Силы сцепления, Мпа | | Углы внутреннего трения, градус | |
|-------|---------------------|------------------|-------|-----------------------|---------|--------------------|--------------|---------------------|----------|---------------------------------|-------|
| | | E_1 | E_2 | ν_1 | ν_2 | | | G_2 | γ | C_1 | C_1 |
| 1 | Суглинок насыщенный | 30.0 | 15.0 | 0.36 | 0.24 | 7.60 | 2.00 | 0.03 | 0.06 | 19 | 23 |
| 2 | Грунт | 10.0 | 20.0 | 0.30 | 0.40 | 7.40 | 1.90 | 0.080 | 0.120 | 20 | 24 |
| 3 | Песок мелкий | 81.3 | 85.0 | 0.28 | 0.30 | 32.70 | 2.11 | 0.002 | 0.002 | 35 | 37 |

После этого проведены конечноэлементные исследования по выявлению закономерности деформированных состояний грунтов строительной площадки, углы наклонов для теоретического расчета меняются от нуля до 90° . Результаты расчетов по определению деформированных состояний для различных углов заложений слоев приведены далее на рисунках 5.

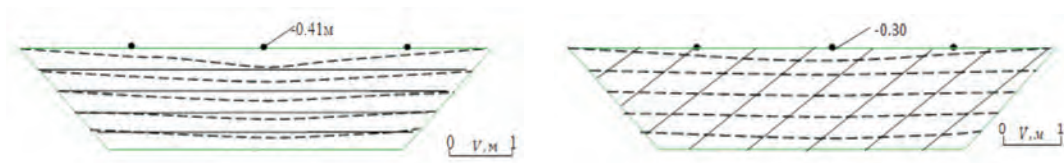


Рисунок 5 – Упругая деформация оснований при горизонтальной ($\varphi = 0$) наклонной ($\varphi = 30^\circ$) слоистости

Из эпюр-перемещений рисунка 5 заметим, что максимальная деформация всего тела основания вниз, симметрично вертикальной, наблюдается относительно оси и поверхности основания. Максимальный прогиб вертикальной составляющей центральной точки на земной поверхности фундаментного основания, помеченной черной точкой, составляет $V = 0.41$ м.

Анализ этих эпюр показывает, что грунты оснований сооружений на строительной площадке в естественно-природном состоянии имеют неоднородные деформации. Чем круче залегание слоев грунта, тем меньше величина деформации. Таким образом, с помощью предложенной новой расчетной модели грунта выяснены закономерности деформированных состояний наклоннослоистого основания сооружений строительной площадки.

Расчет влияний фундамента на деформацию грунта основания наклонно-слоистого строения. Переходим ко второй задаче. Для конструктивных элементов фундамента приняты следующие значения физико-механических свойств: $E = 1.704 - 10^4$ Мпа, $\nu = 0.25$, $\gamma = 2.5 - 10^2$ Мн/м³. Для грунтового основания остаются прежние данные. Для материалов засыпки: $E = 0.60 - 10^4$ Мпа, $\nu = 0.28$, $\gamma = 2.3 - 10^2$ Мн/м³. Для анализа полей деформации выбираем некоторые характерные расчетные точки. Такие

точки показаны на рисунке 4. Такие три точки, которые находятся на поверхности фундамента, отмечены буквами: «Л» – левая; «Ц» – центральная и «П» – правая, относительно центральной вертикальной оси и их места показаны черными кружочками.

Физико-механические свойства массива: упругие постоянные и объемный вес для массива изотропно строения равны: $E = 1 \cdot 10^2$ Мпа, $\nu = 0,2$, $\varphi = 2,0 \cdot 10^{-2}$ МН/м³. Такие параметры для массива анизотропного строения соответственно равны: $E_1 = 0,576 \cdot 10^2$ Мпа, $E_2 = 0,256 \cdot 10^2$ Мпа, $\nu_1 = 0,31$, $\nu_2 = 0,28$, $G_2 = 0,12$ Мпа и объемный вес – $\gamma = 2,2 \cdot 10^{-2}$ МН/м³. Для данной расчетной области оставлена прежняя разбивка: 9604 конечные элементы с 9801 узловыми точками. Результаты исследования по определению различных деформированных состояний от собственного веса грунта и фундаментной конструкции показаны на рисунках 6.

Для сравнения отличий грунта изотропного строения от грунтов анизотропного строения, отдельно исследовано деформированное состояние грунта однородного изотропного строения. Физико-механические свойства грунта такого строения приняты: $E = 0,71 \cdot 10^4$ Мпа, $\nu = 0,31$, $\gamma = 2,0 \cdot 10^2$ МН/м³. Так как при горизонтальной слоистости (угол заложения $\varphi = 0$) область имеет упругую симметрию, поля деформации тоже будут симметричными, а при изотропно однородном грунте тем более будет симметричной. Поэтому ниже, на рисунке 7, показаны на правой половине от оси симметрии – линией красным цветом, эпюры для изотропного варианта, а на левой части – для анизотропного варианта. Хотя грунты имеют примерно одинаковые упругие свойства, из-за слоистости и анизотропии левая часть деформируется больше, чем правая.

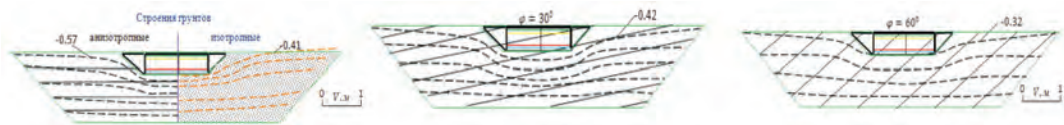


Рисунок 6 – Эпюры перемещений грунта фундаментного основания и вокруг него; левая часть – грунты анизотропного горизонтально слоистого ($\varphi = 0$), а правая часть – изотропного строения. Средний и правый рисунки соответствуют эпюрам перемещений грунтов наклоннослоистого строения: при $\varphi = 30^\circ$ и $\varphi = 60^\circ$.

Здесь в системе «Фундамент-наклоннослоистое грунтовое основание» наблюдается следующая закономерность. Наибольшие по величине деформации на эпюрах наблюдаются, когда углы наклонов слоев ближе к горизонтальной слоистости. Самая наименьшая деформация имеет место при вертикальной слоистости – при $\varphi = 90^\circ$. Таким образом, с помощью предложенной расчетной модели грунта изучены основные закономерности деформационных состояний подфундаментного грунтового основания в зависимости от величины углов наклонов грунтового основания, что столь важно учесть при проектировании фундаментных оснований высотных зданий и сооружений.

Расчет деформационного состояния системы «здание-фундамент-основание». Исходные данные задачи для проведения расчетов и алгоритмов вычисления для пяти

типов нагрузок были изложены во втором разделе. На рисунках 7 показана расчетная область системы, состоящей из здания, фундамента и оснований горизонтального (левый рисунок) и наклоннослоистого (правый рисунок). Черными кружочками на основании зданий показаны выбранные для анализа точки. Здесь же показаны смешанными граничные условия задачи, которые заданы компонентами напряжений σ_n , τ_n для свободной земной поверхности и перемещениями u, v на боковых границах и на нижнем основании.

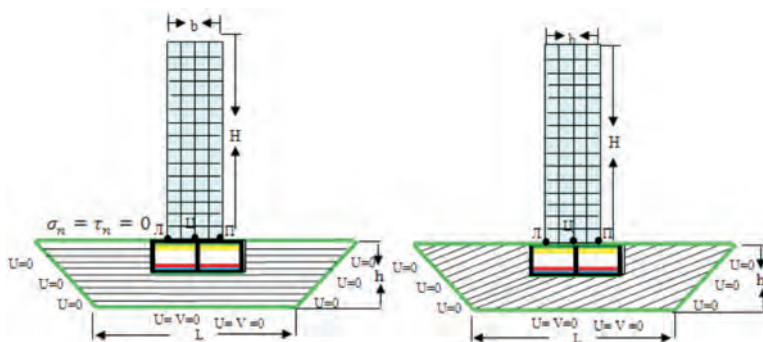


Рисунок 7 – а – вариант горизонтально слоистые (левый рисунок) и б – наклонно-слоистые основания (правый рисунок)

Из-за большого размера матрицы жесткости системы разработан алгоритм динамического сдвига сегмента оперативной памяти. Анализ полученных результатов показан в виде графиков зависимостей для полей перемещений и эпюр напряжений. Главным фактором, влияющим на величину концентраций напряжений, является угол наклона слоев. Расчеты для всех 5-ти задач проводились с шагом $\varphi=5^\circ$. На рисунках 8 и 9 показаны эпюры деформаций в виде компонент перемещений, полученных от действия перечисленных сил, опуская изложения алгоритмов воздействия ветровых сил.

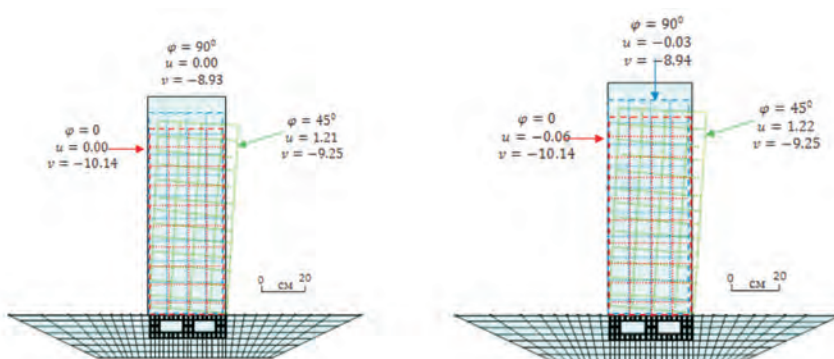


Рисунок 8 – Левый рисунок – деформированные состояния здания от нагрузок собственного веса, при различных углах наклона плоскости изотропии грунтовых слоев в основании: $\varphi = 0$, $\varphi = 45^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$. Правый рисунок – деформированные состояния здания от нагрузки тектонического сжатия при различных углах наклона плоскости изотропии грунтовых слоев в основании: $\varphi = 0$, $\varphi = 45^\circ$ и $\varphi = 90^\circ$

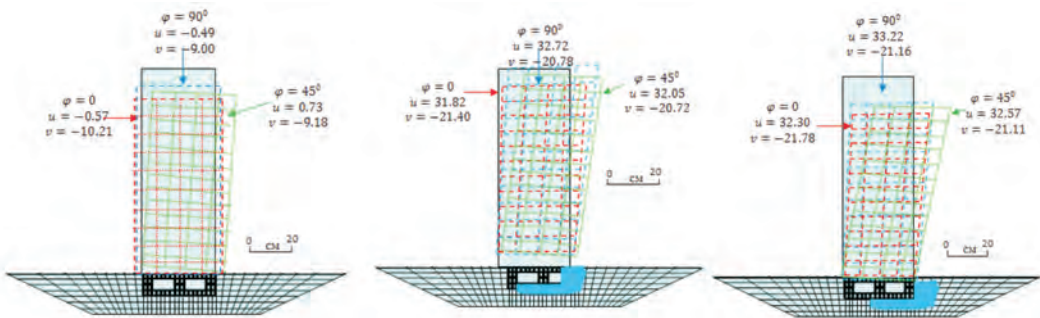


Рисунок 9. Деформированные состояния здания от нагрузки ее собственного веса и ураганного давления на стену здания с левой стороны при различных углах наклона плоскости изотропии грунтовых слоев в основании: $\varphi=0$, $\varphi=45^\circ$ и $\varphi=90^\circ$; второй рисунок – деформированные состояния здания с учетом водонасыщенности под фундаментного грунтового основания с правого основания при различных углах наклона плоскости изотропии грунтовых слоев в основании: $\varphi=0$, $\varphi=45^\circ$ и $\varphi=90^\circ$; третий рисунок – деформированные состояния здания от комплекса воздействия геостатических, гравитационных, тектонических, ветровых нагрузок и водонасыщенности грунтового основания при различных углах наклона плоскости изотропии грунтовых слоев в основании: $\varphi=0$, $\varphi=45^\circ$ и $\varphi=90^\circ$

Заключение. Изучением и систематизированием физико-механических свойств грунтов неоднородного строения, характерных для стройплощадок города Алматы, последовательно решены задачи об определении НДС на геостатические, гравитационные, тектонические, ветровые и на гидростатические нагрузки.

Выяснено, что значения и характер деформации нетронутого грунта изотропного и анизотропного строения отличаются. Во всех вариантах проникание воды к основанию здания приводит к отклонению ее от центра тяжести. Такой сценарий наблюдался во время обрушения домов микрорайона «Бесоба» города Караганды. Результаты наших расчетов совпадают с величиной накренения на 32 см 9-ти этажного дома в микрорайоне Алгабас-6 (Зердели) города Алматы.

Установлено, что наибольшую опасность к обрушению здания представляет скрытое проникание воды к области основания фундамента.

Таким образом, проведенные исследования современными методами механико-математического моделирования и численных методов расчета, совпадение результатов (34 см) с наблюдаемыми (32 см) и измеренными величинами накренения зданий домов «Зердели» города Алматы показывают высокую достоверность полученных результатов.

Итог проведенных исследований и их анализ позволяет в следующем шаге разработать математическую модель управления состоянием устойчивости высотных зданий и сооружений.

ЛИТЕРАТУРА

1 История катастрофы. Обрушение за 20 секунд торгового центра в Корее. 1 июля 2014г. polit.info/2037-obrushenie-za-...sekund-katastrofa-v...

2. СНИП 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.
- 3 СНИП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений.
- 4 СНИП РК 3.02-02-2009. Общественные здания и сооружения.
- 5 СП 22.13330.2011 Свод правил «Основания зданий и сооружений». Москва 2011.159 с.
- 6 Бугров А.К., Голубев А.И. Анизотропные грунты и основания сооружений. – Санкт-Петербург: Недра, 1993. – 226 с.
- 7 Бабешко В.А., Волосухин В.А., Дыба В.П. Инженерные методы расчета оползневых склонов и откосов грунтовых плотин. – Краснодар; Новочеркасск, 2013. – 216 с.
- 8 Федулов В.К., Артемова Л.Ю. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений. – М.: МАДИ, 2015. – с. 21-52.
- 9 Шулятьев О.А. Фундаменты высотных зданий // Вестник ПНИПУ. – М., 2014. – №4. – с. 12-17.
- 10 Леденёв В.В., Ярцев В.П., Однолько В.Г. Испытание грунтовых оснований, материалов и конструкций. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2014.– 240 с
- 11 Антонов В.М. Экспериментальные исследования армированных оснований. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2011. – 80 с.
- 12 Behzad Kalantari Foundations on Expansive Soils: A Review. Article (PDF Available) in Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(18) · September 2012. pp. 3231-3237
- 13 J. Q. Liu and J. L. Liu, “Character of the Lateral Displacement of Soft Soil Foundation under Embankment”, Advanced Materials Research, Vols. 197-198, pp. 987-991, 2011
- 14 X.S. Chenga, G. Zhenga, Y. Diaoa, T.M. Huang, C.H. Denga, Y.W. Leia, H.Z. Zhou. Study of the progressive collapse mechanism of excavations retained by cantilever contiguous piles // Engineering Failure Analysis. 2016. №72. pp. 73-78
- 15 Akbar Pirmoz, Min (Max) Liu. Finite element modeling and capacity analysis of post-tensioned steel frames against progressive collapse// Engineering structures. 2016. №126. Pp. 446–456.
- 16 Amir Hossein Arshian, Guido Morgenthal. Three-dimensional progressive collapse analysis of reinforced concrete frame structures subjected to sequential column removal// Engineering structures. 2017. №132. Pp. 87–97.
- 17 Ержанов Ж.С., Айтиалиев Ш.М., Масанов Ж.К. Сейсмонапряженное состояние подземных сооружений в слоистом анизотропном массиве. – Алма-Ата: Наука, 1980. – с. 96–102.
- 18 Баймахан Р.Б. Расчет сейсмонапряженного состояния подземных сооружений в однородной толще методом конечных элементов – Алматы, 2002. – с. 13 -74.
- 19 Шехтер О.Я. Расчет бесконечной фундаментной плиты, лежащей на упругом основании конечной и бесконечной мощности и нагруженной сосредоточенной силой // Труды НИИ фундаментостроя. – М.: Госстройиздат, 1939. – №10. – С. 133-139.

REFERENCES

- 1 Istoriya katastrofy. Obrushenie za 20 sekund trgovogo centra v Koree. 1 iyulya 2014g. polit.info>2037-obrushenie-za...sekund-katastrofa-v...
- 2 SNIp 2.01.07-85. Nagruzki i vozdeystviya.
- 3 SNIp 2.02.01-83. Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij.
- 4 SNIp RK 3.02-02-2009. Obshchestvennye zdaniya i sooruzheniya.
- 5 SP 22.13330.2011 Svod pravil «Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij». Moskva 2011.159 s.
- 6 Bugrov A.K., Golubev A.I. Anizotropnye grunty i osnovaniya sooruzheniya. – Sankt-Peterburg: Nedra, 1993. – 226 с.

7 Babeshko V.A., Volosuhin V.A., Dyba V.P. Inzhenernye metody rascheta opolznevykh sklonov i otkosov gruntovykh plotin. – Krasnodar; Novocherkassk, 2013. – 216 c.

8 Fedulov V.K., Artemova L.YU. Proektirovanie osnovanij i fundamentov zdaniy i sooruzhenij. – M.: MADI, 2015. – s. 21-52.

9 SHulyat'ev O.A. Fundamenty vysotnykh zdaniy // Vestnik PNIPU. – M., 2014. – №4. – s. 12-17.

10 Ledenyov V.V., YArcev V.P., Odnol'ko V.G. Ispytanie gruntovykh osnovanij, materialov i konstrukcij. – Tambov: Izd-vo TGTU, 2014.– 240 c

11 Antonov V.M. Eksperimental'nye issledovaniya armirovannykh osnovanij. – Tambov: Izdatel'stvo TGTU, 2011. – 80 c.

12.Behzad Kalantari Foundations on Expansive Soils: A Review. Article (PDF Available) in Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 4(18) • September 2012. pp. 3231-3237

13 J. Q. Liu and J. L. Liu, “Character of the Lateral Displacement of Soft Soil Foundation under Embankment”, Advanced Materials Research, Vols. 197-198, pp. 987-991, 2011

14 X.S. Chenga, G. Zhenga, Y. Diaoa, T.M. Huanga, C.H. Denga, Y.W. Leia, H.Z. Zhou. Study of the progressive collapse mechanism of excavations retained by cantilever contiguous piles // Engineering Failure Analysis. 2016. №72. pp. 73-78

15 Akbar Pirmoz, Min (Max) Liu. Finite element modeling and capacity analysis of post-tensioned steel frames against progressive collapse// Engineering structures. 2016. №126. Pp. 446–456.

16 Amir Hossein Arshian, Guido Morgenthal. Three-dimensional progressive collapse analysis of reinforced concrete frame structures subjected to sequential column removal// Engineering structures. 2017. №132. Pp. 87–97.

17 Erzhanov ZH.S., Ajtaliev SH.M., Masanov ZH.K. Sejsmonapryazhennoe sostoyanie podzemnykh sooruzhenij v sloistom anizotropnom massive. – Alma-Ata: Nauka, 1980. – s. 96–102.

18 Bajmahan R.B. Raschet sejsmonapryazhennogo sostoyaniya podzemnykh sooruzhenij v neodnorodnoj tolshche metodom konechnykh elementov – Almaty, 2002. – s. 13 -74.

19 SHekhter O.YA. Raschet beskonechnoj fundamentnoj plity, lezhashchej na uprugom osnovanii konechnoj i beskonechnoj moshchnosti i nagruzhennoj sosredotochennoj siloj // Trudy NII fundamentstroya. – M.: Gosstrojizdat, 1939. – №10. – S. 133-139.

**Р. Б. БАЙМАХАН¹, А. Р. БАЙМАХАН², А. А. СЕЙНАСИНОВА³,
Г. М. БАЙМАХАНОВА⁴, З. М. АБДИАХМЕТОВА²**

¹ Академик У.А.Жолдасбеков атындағы механика және инженерлік ғылымдар институты, Алматы, Қазақстан

² әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан,

³ Азаматтық авиация академиясы, Алматы, Қазақстан

⁴ Оңтүстік Қазақстан мемлекеттік педагогикалық университеті,
Шымкент, Қазақстан

АНИЗОТРОПТЫ ҚҰРЫЛЫМ НЕГІЗІНДЕГІ ҚҰРЫЛЫСТАРДЫҢ ҚИСАЮЫН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛДІ ҚҰРУ

Қысқаша шолу әлемдегі заманауи көп қабатты үйлердің құлауынан туындаған орасан зор

залал проблемасының жай-күйін және осыған байланысты анизотропты құрылымның жер негіздерін білмеуін көрсетеді.

Күрделі анизотропты құрылымы бар топырақ ортасының есептеу математикалық моделі және оны практикалық есептеулерде қолдану алгоритмдері ұсынылған.

Зерттеу нәтижелері және оларды талдау, сондай-ақ жүйенің базалық-іргетас пен ғимараттардан тұратын деформацияланған қисаю күйінің заңдылықтары, күрделі көлбеу қабатты негіздің бұрыштарының мәніне байланысты келтірілген. Кестелер түрінде және көптеген суреттерде Қазақстанның ірі қалаларында болған ғимараттар мен құрылыстардың еңкейтудің негізгі заңдылықтары, мысалы, Алматы қаласында көрсетілген.

Түйін сөздер: топырақ, анизотропия, модель, деформация, негіз, құлау, қирау.

**R. B. БАЙМАХАН¹, A. R. БАЙМАХАН², A. A. СЕИНАСИНОВА³,
G. M. БАЙМАХАНОВА⁴, Z. M. АБДИАХМЕТОВА²**

¹*Institute of Mechanics and Engineering Science named after academician
U.A.Zholdasbekov, Almaty, Kazakhstan,*

²*Kazakh National University named after al - Farabi, Almaty, Kazakhstan,
baimahan-aigerim@mail.ru*

³*Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan,*

⁴*South Kazakhstan State Pedagogical University, Shymkent, Kazakhstan,*

DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL AND RESEARCH OF THE INCLINATION OF A BUILDING ON A GROUND BASIS OF ANISOTROPIC STRUCTURE

A brief overview shows the state of the problem of the huge damage caused by the collapse of modern high-rise buildings in the world and, in this regard, the lack of knowledge of the ground bases of an anisotropic structure.

A computational mathematical model of a soil medium with a complex anisotropic structure and algorithms for its application in practical calculations are proposed.

The results of the research and their analysis are presented, as well as the regularities of the deformed tilted state of the system consisting of the base-Foundation and buildings, depending on the value of the angles of a complex inclined layered base. In the form of tables and a large number of drawings, the main patterns of tilting of buildings and structures that took place in large cities of Kazakhstan are shown, for example, in the city of Almaty.

Keywords: soils, anisotropy, model, deformation, base, collapse, destruction.