

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	5
ЗАДАНИЯ.....	8
Пример выполнения самостоятельной работы. Дополнительная осадка фундамента объекта окружающей застройки от устройства котлована.....	32
Контрольное задание. Расчет осадки ленточного фундамента на однородном основании	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	54
Библиографический список.....	54

ПРЕДИСЛОВИЕ

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Основания и фундаменты зданий и сооружений» по направлению подготовки 08.03.01 Строительство для проведения компьютерного практикума.

Цель учебно-методического пособия — формирование базовых компетенций обучающихся в области геотехнических расчетов с применением наиболее распространенного программного комплекса Plaxis 2D. Пособие рассчитано на обучающихся, обладающих базовыми знаниями механики грунтов, сопротивления материалов и строительной механики, но ранее не работавших с данной программой. В данном издании рассматривается набор основных инструментов программы для проектирования фундаментов мелкого заложения. Для наглядности базовые действия сопровождаются необходимыми пояснениями и скриншотами из программы. Для лучшего усвоения знаний приведены задания, выполняемые поэтапно с анализом промежуточных результатов, корректировкой неудачных проектных решений, рассмотрением итогов, а также с иллюстрацией фотографий реальных объектов.

Каждое задание рассчитано на 2 учебных занятия. На первом занятии выполняется расчетная схема до получения неудовлетворительного результата расчета. В рамках домашней работы между занятиями корректируются проектные решения, опираясь на данное пособие. На втором занятии обучающиеся демонстрируют выполненную работу, защищают ее, отвечая на вопросы преподавателя.

Методические рекомендации также содержат контрольное задание, предусмотренное учебным планом. Вариант задания, подлежащий выполнению, соответствует номеру обучающегося по списку.

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность принятых конструктивных решений должна обеспечиваться соответствующими расчетами (п. 2 ч. 6 ст. 15 [1]). Конструктивные расчеты проводятся аналитическими и численными методами.

Аналитические расчеты осуществляются по известным алгебраическим формулам, в которые подставляются исходные параметры. Область применения данных расчетов ограничивается достаточно простыми ситуациями. К таким расчетам можно, например, отнести расчет осадки методом послойного суммирования (п. 5.6.31 [3]).

Прикладные инженерные задачи, как правило, являются весьма сложными для выполнения расчета аналитическими методами, поэтому в современной инженерной деятельности преобладают **численные расчеты методом конечных элементов (МКЭ)**, которые предусматривают решение дифференциальных уравнений в частных производных. Как правило, точное решение таких задач математике неизвестно, поэтому решение получается приближенным.

Совокупность задач геотехнической практики требует использования современных программных комплексов. Рынок предлагает множество продуктов различной степени сложности. Среди конструкторов распространены SCAD и ЛИРА, где взаимодействие грунтового массива с конструкциями задается контактной моделью основания по типу Винклера и Пастернака. Наоборот, более сложный интерфейс и наукоемкие модели представлены в программных комплексах Abaqus и Ansys. Наибольшее распространение в инженерной практике получили программы зарубежного выпуска Plaxis и Midas GTS NX. На рынке отечественного программного обеспечения можно отметить SiO 2D и Alterra.

Любой расчет проводится в 3 этапа: I — ввод данных — подготовка расчетной схемы (модели); II — выполнение вычислений; III — анализ полученных результатов. Остановимся на создании расчетной схемы (этап I) и анализе полученных результатов (этап III). Выполнение вычислений (этап II) выходит за рамки дисциплины и больше относится к вопросам прикладной математики.

Требования к расчетной схеме (этап I) исчерпывающе изложены в разд. 11 [4]. На рис. 1 приведен состав расчетной схемы.

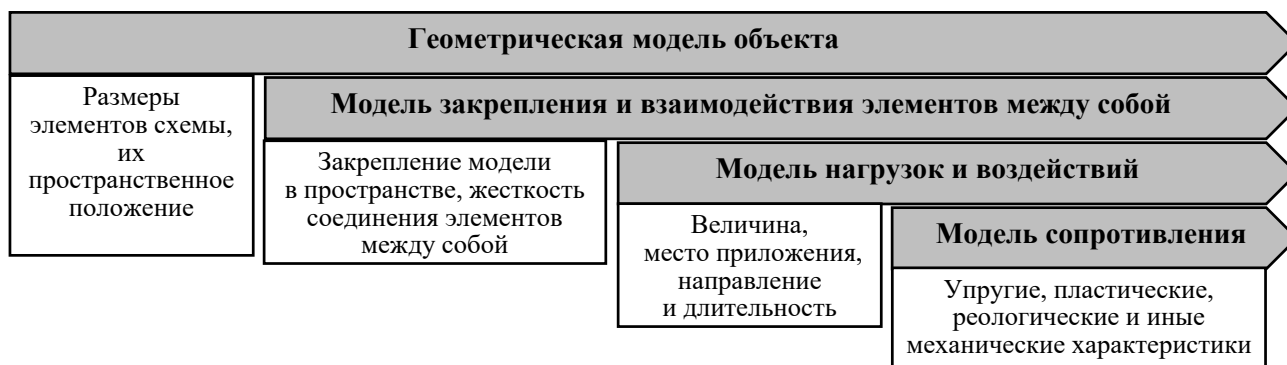


Рис. 1. Состав расчетной схемы

Анализ полученных результатов расчета (этап III) в строительстве проводится в форме проверки условий надежности — выполнении критериев предельных состояний (п. 3.3 [4]). Описание критериев предельных состояний приведено в табл. 1.

Таблица 1

Группы предельных состояний

Первая группа	Вторая группа
Состояния строительных объектов, превышение которых ведет к потере несущей способности строительных конструкций и возникновению аварийной расчетной ситуации (п. 5.1.1 [4]). Применительно к основаниям и фундаментам к первой группе предельных состояний относятся состояния, приводящие сооружение и основание к полной непригодности к эксплуатации (потеря устойчивости формы и положения; хрупкое, вязкое или иного характера разрушение; резонансные колебания; чрезмерные деформации основания и т.п.) (п. 5.1.5 [3])	Состояния, при превышении которых нарушается нормальная эксплуатация строительных конструкций, исчерпывается ресурс их долговечности или нарушаются условия комфортности (п. 5.1.1 [4]). Применительно к основаниям и фундаментам ко второй группе предельных состояний относятся состояния, затрудняющие нормальную эксплуатацию сооружения, снижающие его долговечность вследствие недопустимых перемещений (осадок, подъемов, прогибов, кренов, углов поворота, колебаний, трещин и т.п.) (п. 5.1.5 [3])

Также при расчетном обосновании безопасности проектных решений необходимо учитывать не только **установившуюся** расчетную ситуацию (эксплуатация объекта после завершения строительства), но и **переходные** расчетные ситуации, возникающие, например, на этапе строительства объекта (п. 3.10 [4]). Касаемо расчета строительных конструкций в большинстве случаев это не особо актуально, так как по мере строительства конструкции испытывают преимущественно один и тот же вид *напряженно-деформированного состояния* (НДС), а наиболее нагруженное состояние наступает уже на этапе эксплуатации, когда действуют все полезные нагрузки и нагрузки от всех возведенных конструкций. Расчетные схемы при расчете строительных конструкций, как правило, представляют модель здания сразу на этапе эксплуатации, не рассматривая промежуточные этапы строительства. Конструкторские решения, удовлетворяющие нагружению на этапе эксплуатации, обеспечат надежность в процессе их возведения. Исключение здесь, наверное, составят только какие-то необычные постройки.

По мере строительства НДС грунтового массива существенно меняется качественно и количественно, поэтому при расчете оснований требуется учитывать все переходные ситуации. Например, на этапе разработки котлована при снятии нагрузки с нижележащих водоупорных слоев грунта может произойти разрушение дна котлована напором грунтовых вод (п. 9.28, 9.29 [3]). Если пропустить данную ситуацию и рассмотреть сразу стадию, когда здание уже возведено и пригружает рассматриваемый слой, то в процессе строительства на нулевом цикле может возникнуть аварийная ситуация. В геотехнических расчетах особое место занимает учет стадийности процесса строительства.

Программа Plaxis 2D представляет собой двухмерную конечно-элементную программу, предназначенную для расчета статических упругопластических деформаций, устойчивости и консолидации, а также фильтрации грунтовых вод в геотехнических задачах.

В общем виде работа в Plaxis строится следующим образом. В окне ввода данных (*Input* ) с помощью набора инструментов создаются грунтовый массив и строительные конструкции, затем — наборы характеристик физико-механических параметров (*Materials sets* ) , которые и присваиваются грунтам и конструкциям, после чего программа формирует сетку конечных элементов (*Generate mesh* ) . Далее задается стадийность расчета путем создания фаз строительства (*Phases*) и запускается расчет (*Calculate* ) . После завершения расчета осуществляется просмотр его результатов (*View calculation results* ) в соответствующем окне (*Output* ) , где можно анализировать перемещения (*Deformations*) и напряжения (*Stresses*) в грунтовом массиве, внутренние усилия в строительных конструкциях (*Forces*).

Термины и определения

В целях использования единой профессиональной терминологии приведем определения базовых терминов геотехники.

Воздействие — явление, вызывающее изменение напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и (или) основания здания или сооружения (п. 4 ст. 2 [1]; п. 2.2.1 [4]).

Конструктивная система — совокупность взаимосвязанных строительных конструкций и основания (п. 2.2.2 [4]).

Котлован — выемка в грунте, предназначенная для устройства оснований, фундаментов и/или других подземных частей сооружения; результат разработки, подъема и удаления грунта, материала насыпи или иного материала основания (п. 3.2.2, 3.2.6 [5]).

Нагрузка — внешняя механическая сила, прилагаемая к строительным конструкциям и/или основанию здания или сооружения и определяющая их напряженно-деформированное состояние (п. 10 ст. 2 [1]; п. 2.2.3 [4]).

Окружающая застройка — существующие здания и сооружения, инженерные и транспортные коммуникации, расположенные вблизи объектов нового строительства или реконструкции (п. 3.23 [3]).

Осадки — вертикальные составляющие деформаций основания, происходящих в результате внешних воздействий и в отдельных случаях от собственного веса грунта, не сопровождающихся изменением его структуры (п. 3.24 [3]).

Основание — часть массива грунта, взаимодействующая с конструкцией сооружения, воспринимающая воздействия, передаваемые через фундамент и подземные части сооружения и передающие на сооружение техногенные и природные воздействия от внешних источников (п. 13 ст. 2 [1]; п. 3.26 [3]; п. 2.1.8 [4]).

Предельное состояние строительного объекта — состояние строительного объекта, при превышении характерных параметров которого эксплуатация строительного объекта недопустима, затруднена или нецелесообразна (п. 2.2.8 [4]).

Просадки — вертикальные составляющие деформаций основания, происходящие в результате уплотнения грунта и коренного изменения структуры грунта под воздействием как внешних нагрузок и собственного веса грунта, так и дополнительных факторов, таких, например, как замачивание просадочного грунта, оттаивание ледовых прослоек в замерзшем грунте и т.п. (п. 3.32 [3]).

Расчетные ситуации — учитываемый при расчете сооружений комплекс наиболее неблагоприятных условий, которые могут возникнуть при их возведении и эксплуатации (п. 2.2.12 [4]).

Фундамент — часть объекта, которая служит для передачи нагрузки от объекта на основание (п. 3.43 [3]).

ЗАДАНИЯ

Задание 1. Осадка ленточного фундамента

Цель выполнения: ознакомиться с основными инструментами программы Plaxis 2D; закрепить знание о предельных деформациях оснований фундаментов объектов нового строительства.

Задачи: создать расчетную модель 5-этажного здания с ленточными фундаментами на однородном основании с моделированием стадийности выполнения строительных работ «разработка котлована» — «нулевой цикл» — «надземная часть»; выполнить расчет; сравнить полученные значения осадки с предельными и при необходимости внести изменения в технические решения конструкции фундаментов. Высота этажа 3 м, в сечении 2 пролета по 6 м, глубина заложения фундаментов 2 м, ширина подошвы ленточного фундамента 600 мм. Материал конструкций — монолитный железобетон. Толщина: ленточного фундамента — 500 мм, стен подземной части — 300 мм, стен и перекрытий надземной части — 200 мм.

Порядок выполнения

На первом занятии будут подробно описаны технические шаги создания модели. Открыв программу Plaxis 2D, в окне *Quick select* создаем новый проект нажатием на кнопку *Start a new project*. В появившемся окне *Project properties* в строке *Title* задаем наименование проекта «Задание №1», в выпадающем списке *Model* выбираем тип модели *Plane strain*¹, переходим во вкладку *Model* и в области *Contour* задаем значения $x_{\min} = 0$ m, $x_{\max} = 50$ m, $y_{\min} = 0$ m, $y_{\max} = 40$ m для задания размеров рабочей области модели (рис. 2). В любой момент можно будет изменить заданные настройки во вкладке *File / Project properties*.

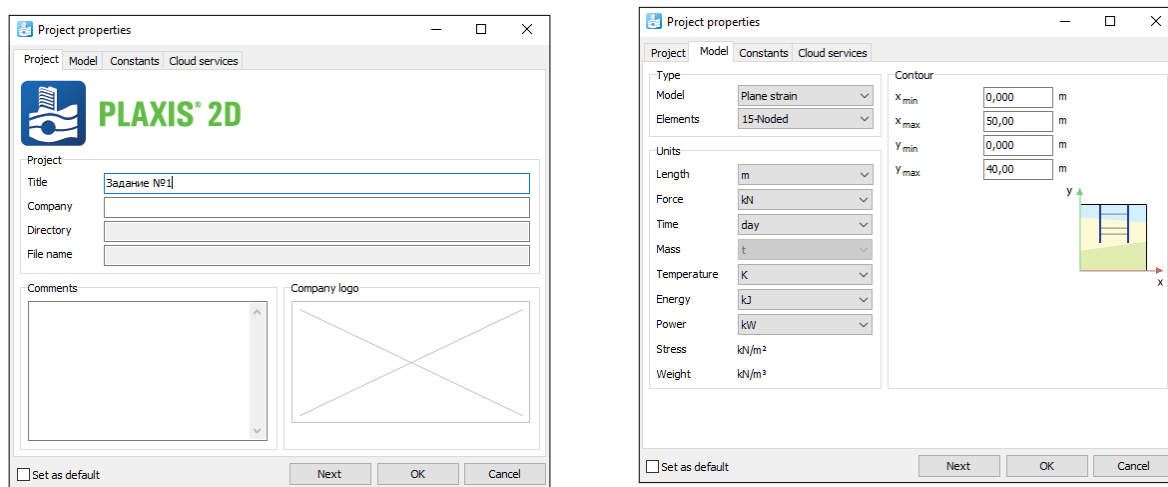


Рис. 2. Свойства проекта (*Project properties*)

Переходим во вкладку *Structures* , в появившейся рабочей области на панели инструментов выбираем *Create soil polygon*  и создаем контур грунтового массива по точкам (0 0) (0 20) (50 20) (50 0). После формирования грунтового массива в выпадающем списке *Create line*  выбираем инструмент *Create line displacement*  для задания граничных условий грунтового массива, а затем обводим левую, нижнюю и правую границы грунтового массива. После этого выбираем поочередно сформированные элементы и в окне *Selection explorer* назначаем свойства из табл. 2.

¹ Тип модели *Plane strain* (плоская деформация) предусматривает возможность перемещения точек в плоскости XOY и нулевые перемещения в направлении оси Z , направленной перпендикулярно рабочей области. Такой вид деформирования характерен для протяженных конструкций [9]. Подробнее о плоских задачах можно ознакомиться в публикациях теории упругости [6, с. 344–346]. Вторым типом модели является *Axisymmetry* (осесимметричная), в которой предусматривается осевая симметрия вокруг оси Y .

Стандартные граничные условия

Закрепление	Граница		
	Левая	Нижняя	Правая
Горизонтальные перемещения $Displacement_x$	Fixed	Fixed	Fixed
Вертикальные перемещения $Displacement_y$	Free	Fixed	Free

Таким образом, слева и справа от грунтового массива горизонтальные перемещения ограничены, а вертикальные — нет, внизу ограничены и горизонтальные, и вертикальные перемещения (рис. 3). В последующих работах будем называть такое состояние **стандартными граничными условиями**.

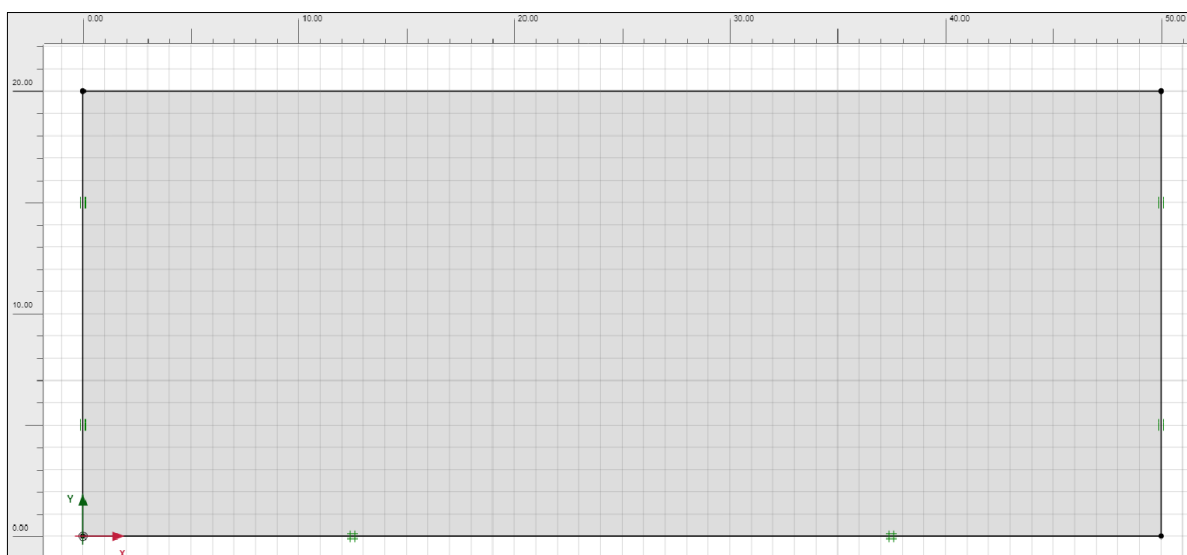


Рис. 3. Грунтовый массив с граничными условиями

Если попробовать нажать на сформированный прямоугольник, то он будет выделяться целиком как единый объект. Соответственно, далее можно будет ему присвоить единые свойства на весь массив и активировать / деактивировать тоже только целиком, что не удовлетворяет нашим потребностям, так как требуется замоделировать стадию откопки котлована, т.е. деактивировать часть грунтового массива. Для этого при помощи инструмента *Cut polygon*  формируем контур будущего котлована по точкам (16 20) (18 18) (32 18) (34 20) (рис. 4). После нажатием на объем котлована и на оставшийся грунтовый массив проверяем, что в расчетной схеме сформированы 2 полигона, которым мы сможем назначать отдельные свойства и отдельно активировать / деактивировать.

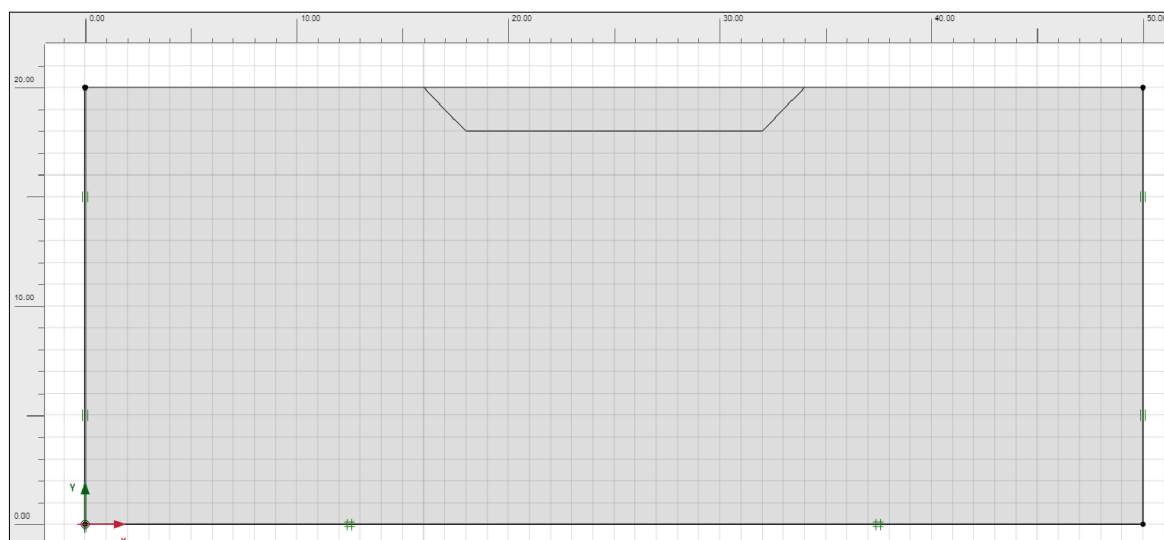


Рис. 4. Грунтовый массив с полигоном котлована

Приступаем к этапу формирования конструкций и нагрузок. На панели инструментов выбираем *Create plate*  и формируем 3 ленточных фундамента по точкам (18.7 18) (19.3 18), (24.7 18) (25.3 18) и (30.7 18) (31.3 18). Затем с помощью того же инструмента формируем 3 стены подвала по точкам (19 18) (19 20), (25 18) (25 20) и (31 18) (31 20) (рис. 5).

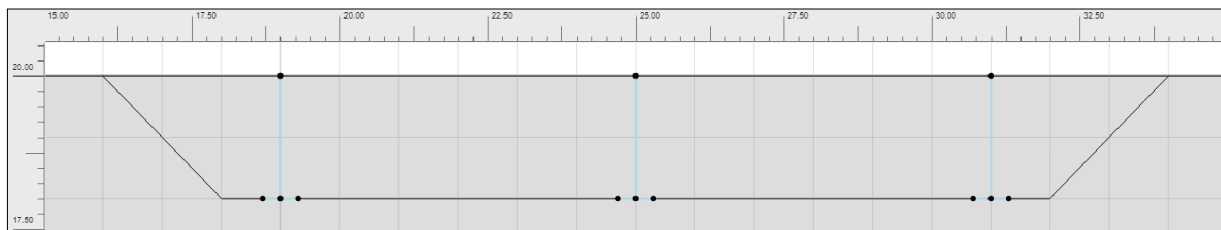


Рис. 5. Схема расположения подземных конструкций

Для формирования стен надземной части также используем инструмент *Create plate*  и формируем 3 стены по точкам:

(19 20) (19 23) (19 26) (19 29) (19 32) (19 35)
 (25 20) (25 23) (25 26) (25 29) (25 32) (25 35)
 (31 20) (31 23) (31 26) (31 29) (31 32) (31 35)

Затем формируем 5 плит перекрытий по точкам:

(19 23) (25 23) (31 23)
 (19 26) (25 26) (31 26)
 (19 29) (25 29) (31 29)
 (19 32) (25 32) (31 32)
 (19 35) (25 35) (31 35)

В учебных целях и из-за несложности геометрии схемы делаем построение по точкам в самой программе Plaxis, однако имеется возможность, например, выполнить чертеж в AutoCAD и импортировать его в Plaxis в формате *.dxf, сформировав геометрическую подоснову схемы, а затем построить конструктивные элементы по заданной подоснове. Геометрия конструктива готова (рис. 6), переходим к заданию нагрузок.

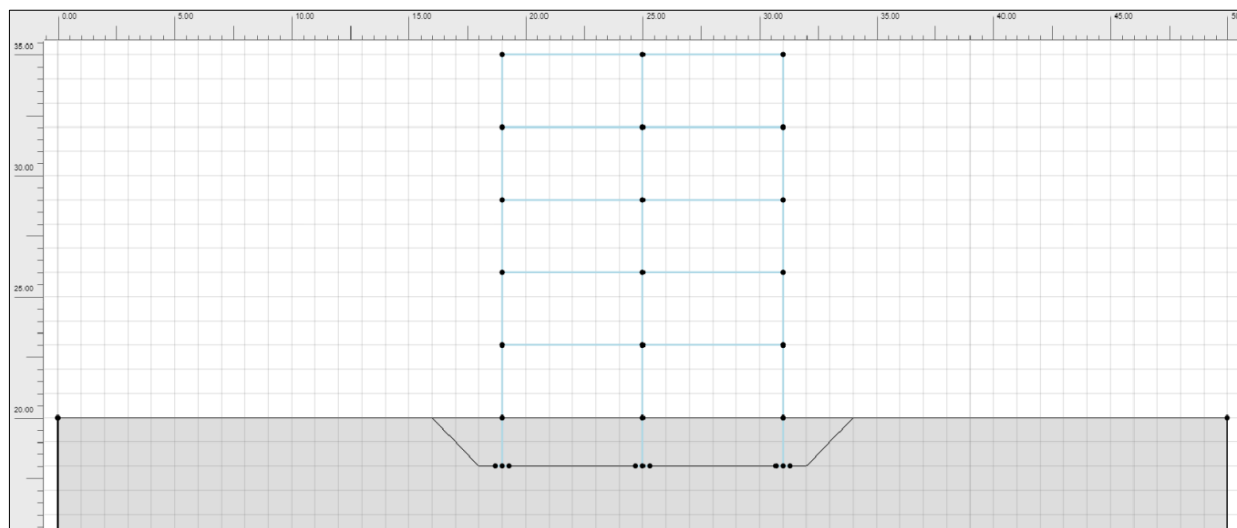


Рис. 6. Схема расположения конструкций

На панели инструментов выбираем инструмент *Create line load*  и прикладываем нагрузку на все ранее заданные перекрытия, а также на пол 1-го этажа по точкам (рис. 7). Программа Plaxis permanently использует номинальное значение нагрузки $q_{y,start,ref} = -1,0 \text{ kN/m/m}$. Требуется установить значение $-3,0 \text{ kN/m/m}$. Чтобы присвоить сразу всем нагрузкам одинаковое значение, в выпадающем списке *Select multiple objects*  выбираем *Select lines*  → *Select line loads* . Обводим рамкой нагрузки и в окне *Selection explorer* устанавливаем значение $q_{y,start,ref} = -3,0 \text{ kN/m/m}$.

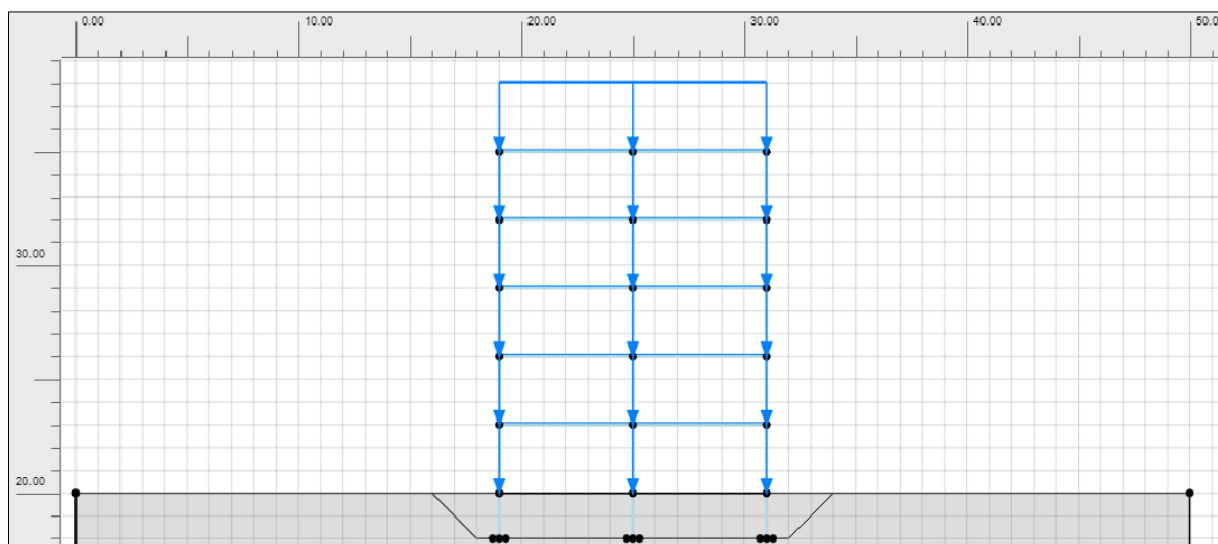


Рис. 7. Схема приложения нагрузок

На данном этапе готова геометрия модели, заданы необходимые элементы. Далее нужно назначить свойства грунта и конструкциям, после чего перейти к моделированию стадийности расчета.

На панели инструментов вызываем окно *Show materials* , при выбранной позиции *Soil and interfaces* в поле *Set type* создаем новый тип грунта нажатием кнопки *New*. Присваиваем виду грунта набор параметров из табл. 3 (рис. 8).

Таблица 3

Свойства грунта (Soil and interfaces)

Наименование параметра	Значение параметра
<i>Identification</i>	Супесь
Модель грунта (<i>Soil model</i>)	Mohr-Coulomb
Удельный вес материала в неводонасыщенном состоянии γ_{unsat}	18,0 kN/m ³
Удельный вес материала в водонасыщенном состоянии γ_{sat}	18,0 kN/m ³
Модуль деформации E'_{ref}	10 000 kN/m ²
Коэффициент Пуассона ν (nu)	0,33
Сцепление c'_{ref}	7,0 kN/m ²
Угол внутреннего трения ϕ' (phi)	17,0°

Сохранив тип материала, назначаем его грунтовому массиву путем перетаскивания зажатой левой кнопкой мыши из окна *Materials sets* в соответствующий полигон.

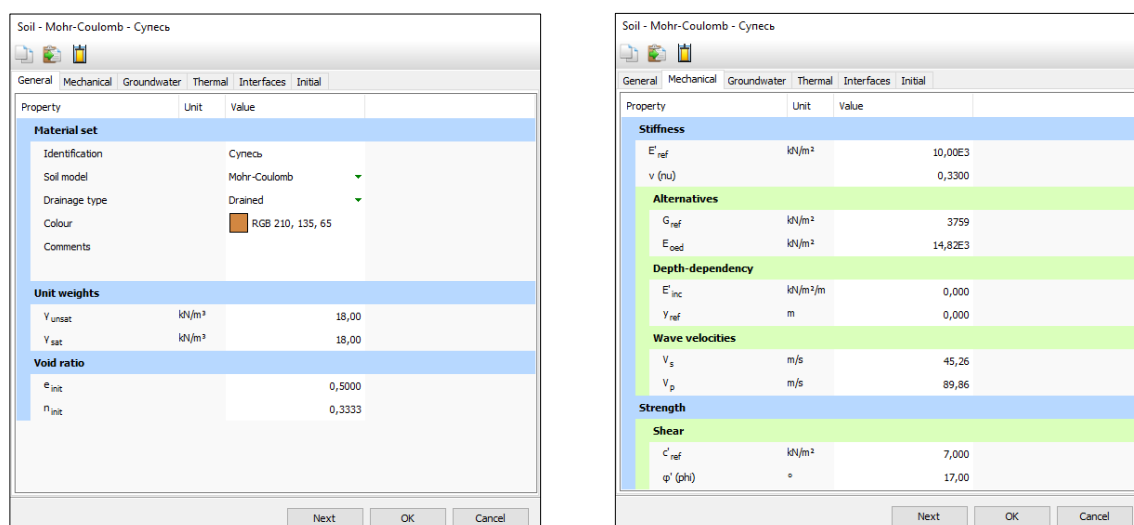


Рис. 8. Параметры грунта

В окне *Materials sets*  в поле *Set type* из выпадающего списка выбираем *Plates* для создания материала плит. Присваиваем видам плит набор параметров различной толщины из табл. 4 (рис. 9).

Таблица 4

Свойства конструкций (Plates)

Наименование параметра	Значение параметра		
<i>Identification</i>	Фундаменты t500	Стены t300	Плиты t200
Удельный вес w , kN/m/m	13,0	8,0	5,0
Жесткость на сжатие EA_1 , kN/m	15 000 000	9 000 000	6 000 000
Жесткость на изгиб EI , kN·m ² /m	312 500	67 500	20 000
Коэффициент Пуассона ν (nu)	0,2	0,2	0,2

Plate - Фундаменты t500

General Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Фундаменты t500
Material type		Elastic
Colour		RGB 249, 216, 1
Comments		
Unit weights		
w	kN/m/m	13,00
Advanced		
Prevent punching		☐

Next OK Cancel

Plate - Фундаменты t500

General Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Properties		
Isotropic		☒
Stiffness		
EA_1	kN/m	15,00E6
EA_2	kN/m	15,00E6
E_1	kN/m ²	30,00E6
E_2	kN/m ²	30,00E6
EI	kN m ² /m	312,5E3
ν (nu)		0,2000
d	m	0,5000

Next OK Cancel

Plate - Стены t300

General Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Стены t300
Material type		Elastic
Colour		RGB 255, 51, 238
Comments		
Unit weights		
w	kN/m/m	8,000
Advanced		
Prevent punching		☐

Next OK Cancel

Plate - Стены t300

General Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Properties		
Isotropic		☒
Stiffness		
EA_1	kN/m	9,000E6
EA_2	kN/m	9,000E6
E_1	kN/m ²	30,00E6
E_2	kN/m ²	30,00E6
EI	kN m ² /m	67,50E3
ν (nu)		0,2000
d	m	0,3000

Next OK Cancel

Plate - Плиты t200

General Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Плиты t200
Material type		Elastic
Colour		RGB 108, 239, 1
Comments		
Unit weights		
w	kN/m/m	5,000
Advanced		
Prevent punching		☐

Next OK Cancel

Plate - Плиты t200

General Mechanical Thermal

Property	Unit	Value
Properties		
Isotropic		☒
Stiffness		
EA_1	kN/m	6,000E6
EA_2	kN/m	6,000E6
E_1	kN/m ²	30,00E6
E_2	kN/m ²	30,00E6
EI	kN m ² /m	20,00E3
ν (nu)		0,2000
d	m	0,2000

Next OK Cancel

Рис. 9. Параметры плит

Сохранив типы материала, назначаем их плитам путем перетаскивания зажатой левой кнопкой мыши из окна *Materials sets* на соответствующую конструкцию (рис. 10). Чтобы присвоить сразу нескольким плитам одинаковое значение жесткости, в выпадающем списке *Select multiple objects* выбираем *Select lines* → *Select plates*. Обводим рамкой нужные плиты и в окне *Selection explorer* в строке *Material* устанавливаем нужное значение.

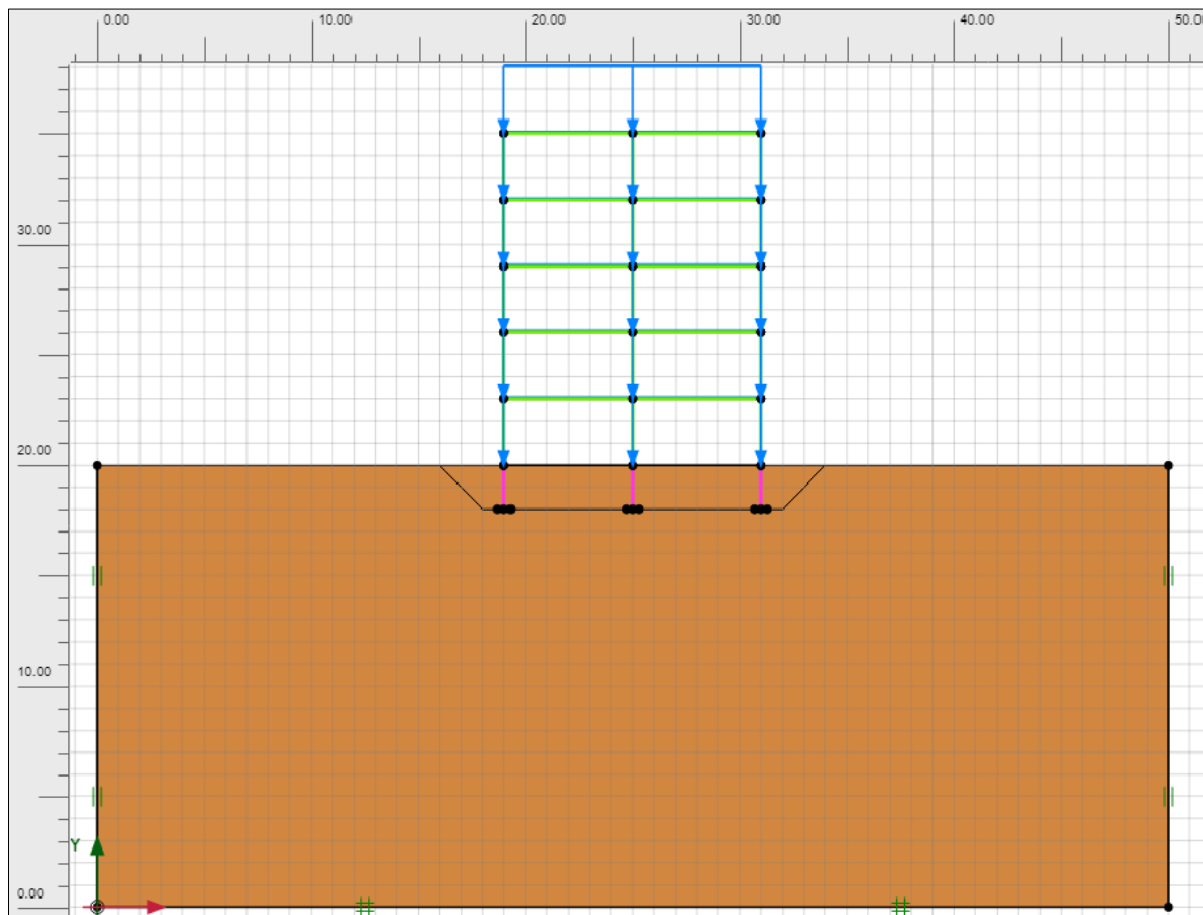


Рис. 10. Готовая расчетная схема с заданными параметрами элементов

На панели инструментов переходим во вкладку *Mesh* и выбираем иконку *Generate mesh* для генерации сетки конечных элементов. В окне *Mesh options* сохраняем значение *Medium* параметра *Element distribution* и нажимаем на кнопку *OK*. После окончания формирования сетки конечных элементов можно посмотреть результат разбивки при помощи функции *View mesh* (рис. 11). Рассмотрев сетку конечных элементов на предмет отсутствия явных ошибок, нажимаем на кнопку *Close* и продолжаем моделирование.

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru