

А. И. Полищук, А. С. Межаков, И. В. Болгов

**РАСЧЕТ ОСАДОК ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА
ГРАЖДАНСКОГО МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MIDAS GTS NX**



**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»**

Архитектурно-строительный факультет

Кафедра оснований и фундаментов

**РАСЧЕТ ОСАДОК ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА
ГРАЖДАНСКОГО МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MIDAS GTS NX**

Методические рекомендации

к выполнению курсового проекта по дисциплине

«Основания и фундаменты сооружений»,

специальность

08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений

Краснодар
КубГАУ
2019

Составители: А. И. Полищук, А. С. Межаков, И. В. Болгов

Расчет осадок ленточного фундамента гражданского многоэтажного здания в программном комплексе MIDAS GTS NX : метод. рекомендации / сост. А. И. Полищук, А. С. Межаков, И. В. Болгов. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 50 с.

В методических рекомендациях рассматривается порядок расчета конечных осадок ленточного фундамента гражданского здания в программном комплексе Midas GTS NX. Освящаются вопросы определения напряжений и перемещений в основании ленточного фундамента и моделирование их работы при заданных внешних нагрузках.

Предназначены для обучающихся специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений». Могут быть полезны для обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры направления подготовки «Строительство».

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета Кубанского ГАУ, протокол № 6 от 19.02.2019.

Председатель
методической комиссии

М. И. Шипельский

© Полищук А. И., Межаков А. С.,
Болгов И. В., составление, 2019

© ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный
аграрный университет
имени И. Т. Трубилина», 2019

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические рекомендации разработаны к выполнению курсового проекта по теме: «Проектирование оснований и фундаментов многоэтажного гражданского здания» для обучающихся специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, специализация «Строительство высотных и большепролетных зданий и сооружений». Они предназначены для выполнения отдельного раздела (раздел 5) курсового проекта, имеющего название «Расчет осадок фундаментов мелкого заложения в программном комплексе Midas GTS NX». Общие требования по выполнению курсового проекта представлены в методических рекомендациях кафедры [1]. Цель предлагаемых методических рекомендаций заключается в подготовке обучающихся 4-го курса архитектурно-строительного факультета КубГАУ к работе в современном программном комплексе Midas GTS NX.

Современный программный комплекс Midas GTS NX широко используется в последние годы в учебном процессе технических вузов. Он позволяет решать и моделировать различные задачи по основаниям, фундаментам зданий и сооружений. К работе в программном комплексе Midas GTS NX обычно приступают после завершения расчетов и конструирования фундаментов мелкого заложения (разделы 1-4) аналитическим методом (см. задание, вариант 1).

Для выполнения курсового проекта по дисциплине «Основания и фундаменты сооружений» каждому обучающемуся выдается задание установленного образца, в котором предлагаются варианты конструктивных схем зданий, нагрузки на фундаменты и грунтовые условия строительства. Заданием также предусматриваются сроки выполнения курсового проекта и промежуточные этапы аттестации отдельных разделов.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА MIDAS GTS NX

Программный комплекс **Midas GTS NX** подготовлен специалистами из Южной Кореи, г. Сеул и верифицирован в России в 2012 г. Он является конечно-элементным программным продуктом, разработанным для детальных расчетов оснований и фундаментов; туннельных систем; разделительных, подпорных и удерживающих строительных конструкций; оснований зданий и сооружений в целом с привязкой их к площадке строительства [1-5]. В программном комплексе реализуются различные методы расчетов, такие как:

1. Линейный и нелинейные статические расчеты по теориям упругости, пластичности основания зданий, сооружений;
2. Расчет этапности возведения строительных конструкций, зданий и сооружений;
3. Расчет консолидации глинистых грунтов основания;
4. Расчеты напряжений, перемещений в грунтах с учетом их фильтрации (применительно для оснований зданий и сооружений);
5. Динамические расчеты оснований и фундаментов, сооружений с использованием зависимостей теории линейно-деформируемой и нелинейно-деформируемой среды и другие.

В настоящее время рассматриваемый программный комплекс постоянно совершенствуется. В ПК Midas GTS NX учитываются различные особенности работы надземных и подземных строительных конструкций, процессы и этапы их возведения. Это позволяет моделировать работу оснований, строительных конструкций и частей зданий, отвечающую реальным условиям их эксплуатации. При этом обучающийся, молодые инженеры-специалисты не только знакомятся с особенностями численного моделирования работы основания и сооружения в

программном комплексе, но и изучают технологию их строительства.

Таким образом, использование программного комплекса Midas GTS NX в учебном процессе при освоении дисциплины «Основания и фундаменты сооружений» дает обучающимся возможность получить навыки и умения, которые будут использованы в реальной практической деятельности.

2 ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ОСАДОК ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ

Перед началом использования программного комплекса, в основу которого положен метод конечных элементов, необходимо подготовить в компьютере модель посадки ленточного фундамента здания на грунты основания и расчетную схему для переноса ее в ПК Midas GTS NX. Самым распространенным способом подготовки расчетной схемы является использование графических редакторов вида Autodesk (AutoCAD, Revit и др.).

В качестве примера построения модели посадки фундамента здания рассмотрим ленточный фундамент на песчано-глинистом грунте с шириной подошвы $b=2$ м, глубиной заложения $d=1,5$ м, средним давлением по подошве $p=150$ кПа. Ширина устраиваемого котлована принята 4 м, угол откосов 45 градусов. Основание представлено 5 инженерно-геологическими элементами согласно рисунку 1. Физико-механические характеристики грунтов приведены в таблице 1. Работу по построению модели посадки ленточного фундамента здания на грунты основания обучающийся выполняет самостоятельно. Исходные данные принимаются согласно выданного задания на курсовой проект, а также по результатам расчета размеров подошвы фундамента аналитическим методом.

Для подготовки расчетной схемы (рисунок 2) удаляем все размеры и обозначения из модели (рисунок 1), оставив только контуры ленточного фундамента и основания (линию УПВ также удаляем). Левый нижний угол на контуре расчетной схемы (точка А) привязываем к началу плоской системы координат (0, 0). Расчетную схему сохраняем с универсальным расширением файла dxf и присваиваем ей имя, например «Схема расчета.dxf».

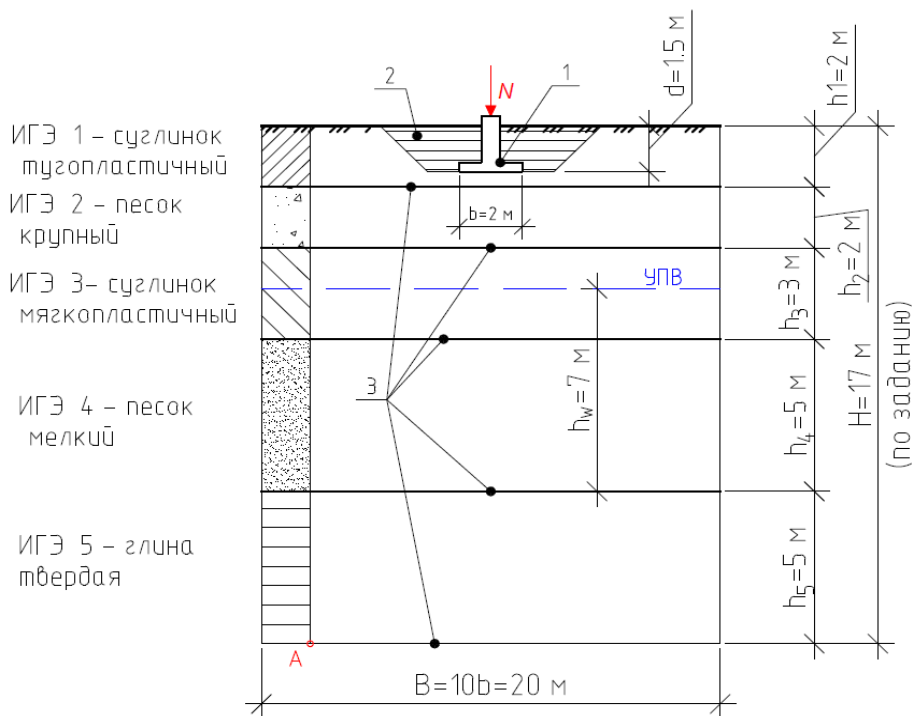


Рисунок 1 – Модель посадки ленточного фундамента здания на грунты основания: 1 - ленточный фундамент; 2 – грунт обратной засыпки пазух фундамента; 3 – границы инженерно-геологических элементов (ИГЭ-1...ИГЭ-5); УПВ – уровень подземных вод; b – ширина подошвы ленточного фундамента; d – глубина заложения фундамента; B – ширина модели посадки ленточного фундамента ($B = 10b$)

Таблица 1 – Физико-механические характеристики грунтов (исходные данные задания на курсовой проект)

Грунты основания фундаментов здания	Суглинок тугопластичный (ИГЭ-1)	Песок крупный (ИГЭ-2)	Суглинок мягкопластичный (ИГЭ-3)	Песок мелкий (ИГЭ-4)	Глина твердая (ИГЭ-5)	Грунт обратной засыпки пазух фундаментов
Удельный вес γ , кН/м ³	18	20	17,8	19,9	18,7	16,5
Удельное сцепление c , кПа	12	2	8	1	42	14
Угол внутреннего трения φ , град.	18	28	12	30	25	20
Коэффициент Пуассона μ_0	0,35	0,3	0,35	0,3	0,4	0,35
Модуль общей деформации E , МПа	10	21	8	24	19	7

Запускаем в работу программного комплекса Midas GTS NX и создаем новую задачу для реализации подготовленной расчетной схемы (рисунок 2). Для этого необходимо выполнить следующие действия: 1 – выбираем новую задачу → 2 – называем задачу (Расчет осадки) и вписываем фамилию обучающегося (Фамилия, инициалы) → 3 – выбираем 2D постановку задачи (плоскую) → 4 – устанавливаем основные единицы измерения (кН, м, сек и др.) → 5 – подтверждаем ОК (ока). Последовательность действий представлена на рисунке 3. Обучающийся сохраняет файл новой задачи под своей фамилией в отдельной директории (папке), например, «Иванов.gts».

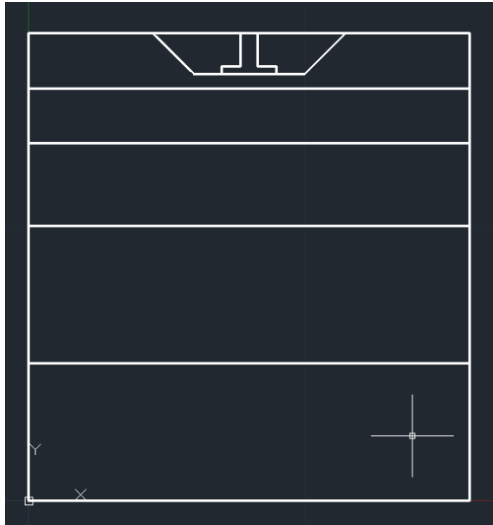


Рисунок 2 – Расчетная схема посадки ленточного фундамента на грунты основания для переноса решаемой задачи в ПК Midas GTS NX, выполненная в AutoCAD

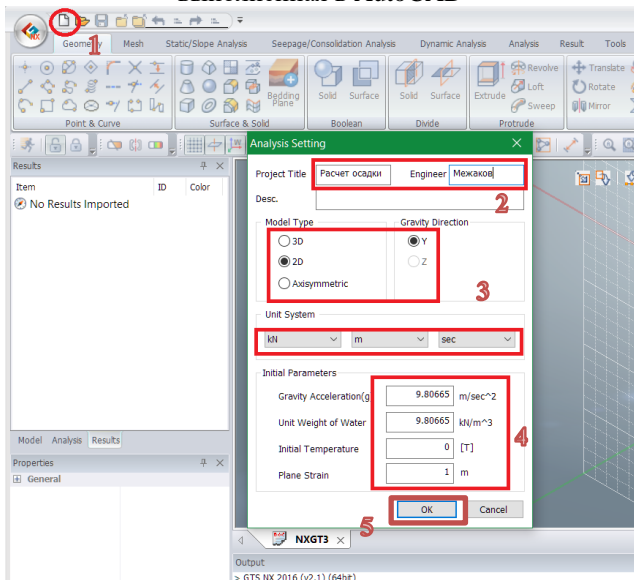


Рисунок 3 – Создание новой задачи в ПК Midas GTS NX для реализации подготовленной расчетной схемы

Последний этап подготовки исходных данных для расчета заключается в переносе (импорте) расчетной схемы из AutoCAD в программный комплекс Midas GTS NX. Для этого необходимо выполнить следующие действия: переходим во вкладку 1 – Import (перенос) → 2 – DXF 2D – Wireframe (DXF 2D – Рамка) → 3 – выбираем файл «Схема расчета.dxf» → 4 – подтверждаем ОК (окау). Последовательность переноса расчетной схемы (импорта) представлена на рисунке 4.

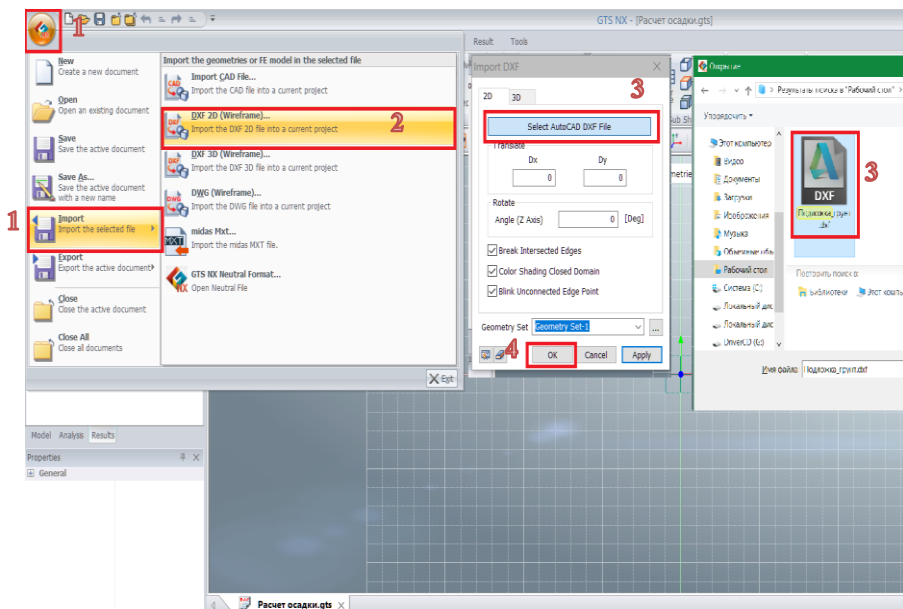


Рисунок 4 – Перенос (импорт) расчетной схемы ленточного фундамента и основания в ПК Midas GTS NX

В результате выполненных действий, обучающийся должен получить плоскую геометрическую модель ленточного фундамента и слоистого основания (рисунок 5), готовую к дальнейшей корректировке и преобразования в конечно-элементную модель.

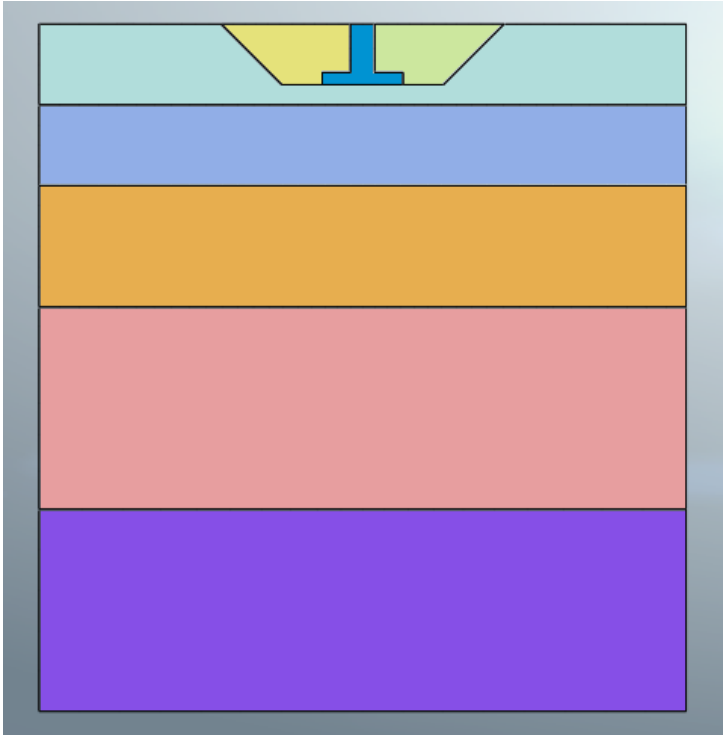


Рисунок 5 – Геометрическая модель ленточного фундамента и грунта основания в ПК Midas GTS NX

3 АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ И ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА

Под *конечно-элементной моделью* следует понимать группу элементов, включающих в свой состав сетки разной конфигурации (треугольники, квадраты, прямоугольники и др.), узлы их крепления между собой, связи и нагрузки. После подготовки геометрической модели основания и ленточного фундамента в ПК Midas GTS NX (рисунок 5) приступаем к созданию конечно-элементной модели. Процесс создания конечно-элементной модели предусматривает 5 этапов:

Этап 1. Перенос исходных данных по характеристикам грунтов (таблица 1) и материалам строительных конструкций в ПК Midas – *Material set* (Материалы);

Этап 2. Назначение свойств используемых материалов строительных конструкций (стержневые, плоские или объемные элементы) и грунтов основания (2D/3D - элементы) – *Property set* (Свойства);

Этап 3. Создание конечно-элементных сеток (далее КЭ-сетки) конечно-элементной модели - *Mesh set* (Сетки);

Этап 4. Назначение граничных условий конечно-элементной модели, связей и др. - *Boundary set* (Граничные условия);

Этап 5. Приложение действующих нагрузок (сосредоточенных, распределенных и др.) - *Load set* (Нагрузки).

Этап 1. Материалы (Material set)

Для переноса характеристик материалов ленточного фундамента в ПК Midas GTS NX необходимо выполнить следующие действия: 1 - переходим из вкладки *Geometry* (*геометрия*) во вкладку *Mesh* (*сетка*) → 2 – затем *Material* (*материалы*) → 3 – далее *Create* (*создать*) → 4 – называем материал «Бетон» и выбираем тип материала *Elastic* (*упругий*) → 5 – вводим дан-

ные по рисунку 6 → 6 – Apply (подтвердить). Последовательность действий по переносу данных в ПК Midas GTS NX представлена на рисунке 6.

Для переноса характеристик грунта (ИГЭ-1) в ПК Midas GTS NX необходимо выполнить следующие действия: 1 – остаемся на вкладке Mesh (сетка) → 2 – далее Material (материалы) → 3 – затем Create (создать) → 4 – называем ИГЭ-1 «Суглинок тугопластичный» и выбираем модель грунта «Mohr-Coulomb» → 5, 6 – вводим данные по рисунку 7 и таблице 1 в выделенные на экране окна → 6 – Apply (подтвердить). Последовательность действий по переносу характеристик грунта представлена на рисунке 7.

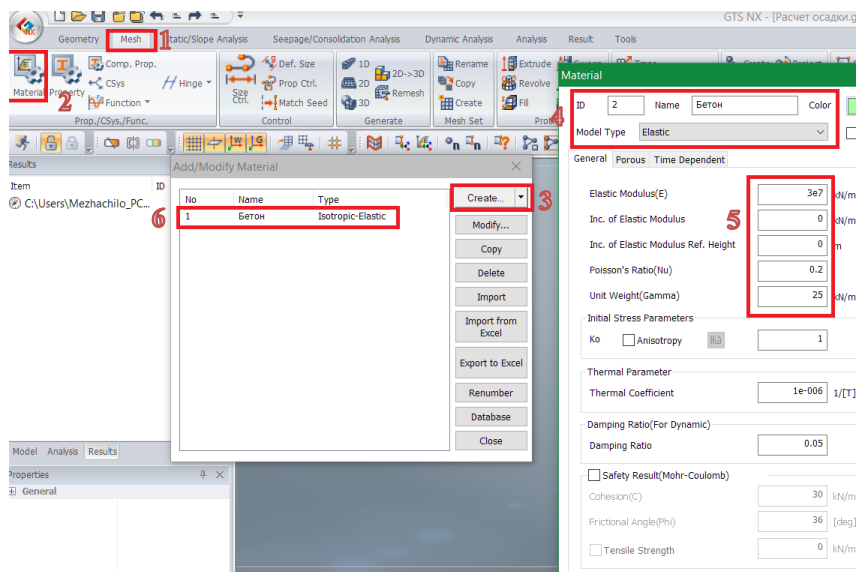


Рисунок 6 – Перенос материалов для ленточного фундамента (этап 1)

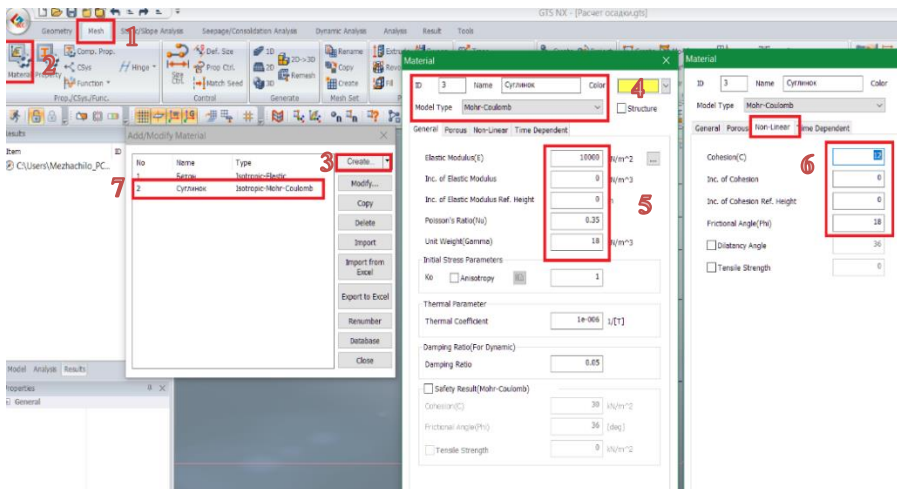


Рисунок 7 – Перенос характеристик инженерно-геологических элементов и обратной засыпки в ПК Midas GTS NX (этап 1)

Описанную выше последовательность выполняем также для инженерно-геологических элементов (ИГЭ-2...ИГЭ-5) и грунта обратной засыпки. На рисунке 8 представлен конечный результат переноса характеристик материалов строительных конструкций и грунтов основания в ПК Midas GTS NX.

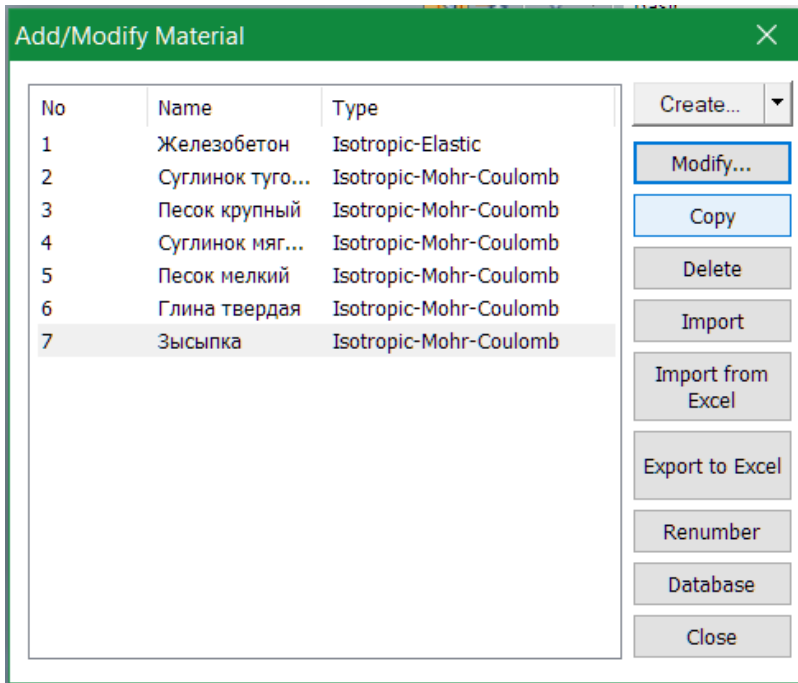


Рисунок 8 – Результат переноса характеристик строительных материалов и грунтов основания в ПК Midas GTS NX (этап 1)

Этап 2. Свойства (Property set)

Для назначения свойств строительных материалов ленточного фундамента и грунтов основания необходимо выполнить следующие действия: остаемся во вкладке 1 – *Mesh (сетка)* → 2 – переходим в *Property (свойства)* → 3 – далее *Create 2D (создать)* → 4 – затем *Plain Strain (плоское напряжение)* → 5 – вписываем название «Суглинок тугопластичный» → 6 – выбираем из списка заданных материалов соответствующий - «Суглинок тугопластичный» → 7 – далее *Apply (подтвердить)*.

Последовательность действий по назначению свойств строительных материалов и грунтов основания представлена на рисунке 9.

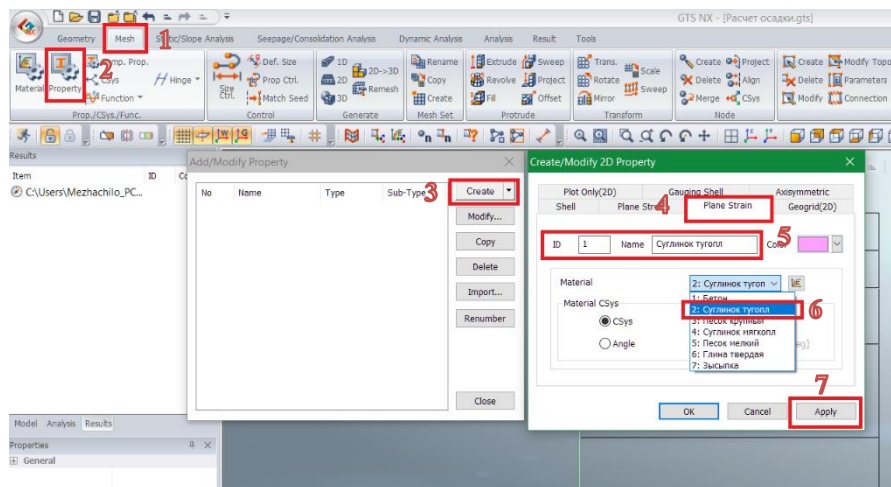


Рисунок 9 – Последовательность назначения свойств строительных материалов в ПК Midas GTS NX (этап 2)

Данную последовательность действий повторяем для всех созданных материалов ленточного фундамента, грунтов основания и обратной засыпки. На рисунке 10 представлен конечный результат назначения свойств в ПК Midas GTS NX.

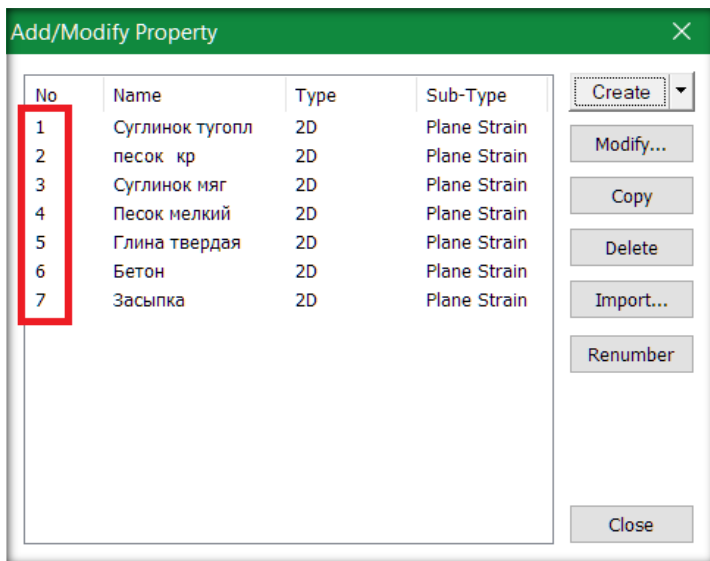


Рисунок 10 – Свойства материалов строительных конструкций и грунтов основания, принятые в ПК Midas GTS NX

Этап 3. Конечно-элементные сетки (Mesh set)

Формирование конечно-элементных сеток (КЭ-сеток) является наиболее ответственным этапом численного моделирования работы рассматриваемого ленточного фундамента. Программный комплекс Midas GTS NX имеет широкий спектр инструментов для создания, настройки и корректировки КЭ-сеток. В ПК Midas можно выделить два основных подхода по созданию КЭ-сеток:

- автоматическое формирование (*Auto*) – позволяет контролировать только размер конечных элементов или их количество во всех точках модели;
- ручное формирование (*Size control*) – позволяет создавать регулярное распределение конечных элементов (плавный переход от мелких к крупным), производить «сгущение» сеток или их «разряжение» в определенных точках модели.

Рассмотрим второй подход создания КЭ-сеток. Для этого необходимо выполнить следующие действия по подготовке к созданию и назначению размеров элементов:

1. Переходим во вкладку *1 – Size control (контроль размеров)* → *2 –* далее *Edge (грань)* → *3 –* выделяем часть геометрической модели, как показано на рисунке 11 → *4 –* выбираем «Interval Length» (интервальный метод разбиения по длине) → *5 –* устанавливаем Mesh size (размер элемента) – 0,3 м → *6 –* далее *Apply (подтвердить)*. Последовательность действий по назначению размеров элементов ленточного фундамента и обратной засыпки представлена на рисунке 11.

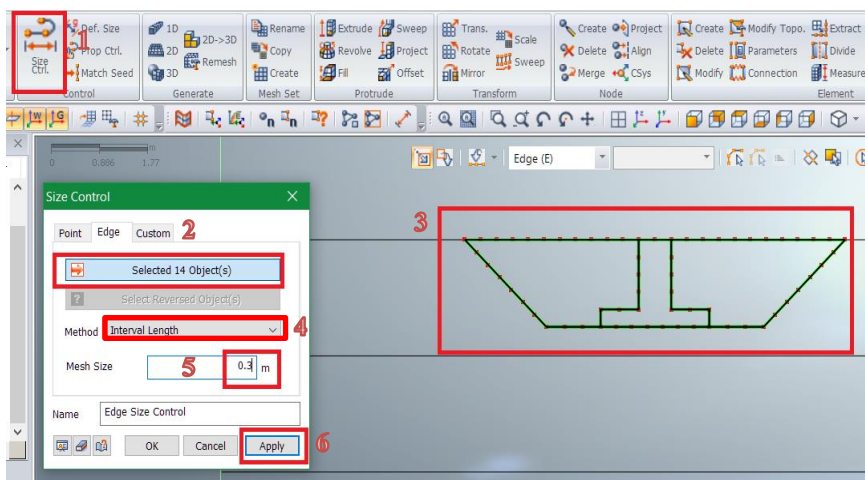


Рисунок 11 – Назначение размеров конечных элементов для фундамента и обратной засыпки в ПК Midas GTS NX

2. В той же вкладке *1 – Size control (контроль размеров)* → *2 – Edge (грань)* → *3 –* выделяем часть геометрической модели, как показано на рисунке 12 → *4 –* выбираем *Linear Grading (градиентный метод разбиения)* и начальный размер элемента - 0,3, конечный размер - 0,5 м → *5 –* далее *Apply (под-*

твердить). Последовательность действий по назначению размеров элементов земной поверхности представлена на рисунке 12.

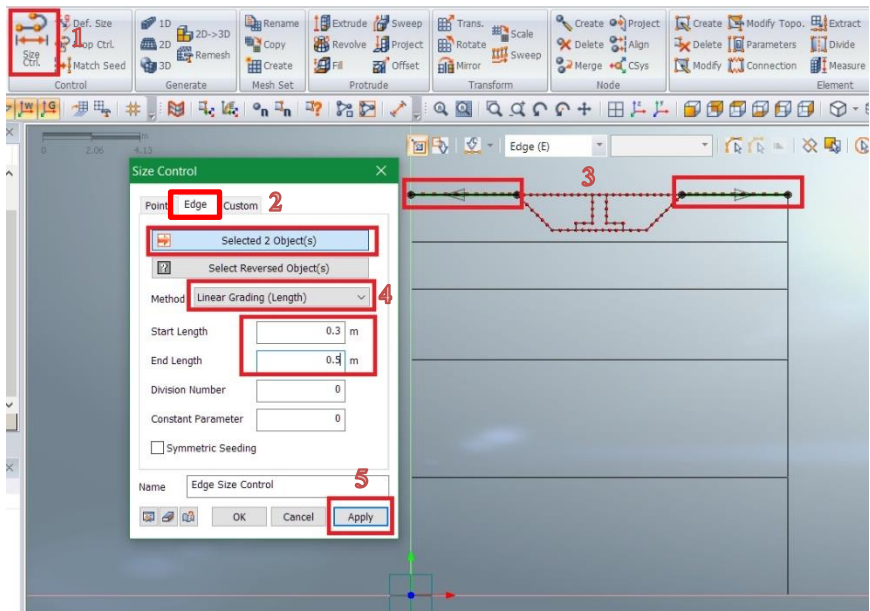


Рисунок 12 – Назначение размеров конечных элементов земной поверхности вблизи ленточного фундамента и обратной засыпки в ПК Midas GTS NX

3. Далее 1– выделяем часть геометрической модели, как показано на рисунке 13 → выбираем *Linear Grading* (градиентный метод разбиения) и начальный размер элемента - 0,5 м, конечный размер - 0,3 м → 4 – устанавливаем флажок «*Symmetric seeding*» (симметричное разбиение) → 5 – *Apply* (подтвердить). Последовательность действий по назначению размеров элементов горизонтальных границ ИГЭ-2...ИГЭ-3 представлена на рисунке 13.

4. Далее 1 – выделяем часть геометрической модели, как показано на рисунке 14 → 2 – выбираем интервальный метод

разбиения «Interval Length» → 3 – устанавливаем размер элемента Mesh size – 0,5 м → 4 – Apply (подтвердить). Последовательность действий по назначению размеров элементов вертикальных границ ИГЭ-2...ИГЭ-3 представлена на рисунке 14.

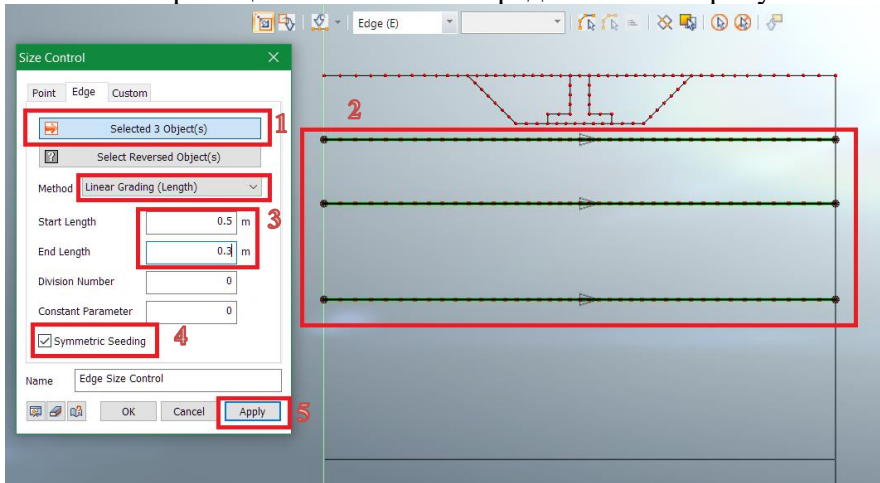


Рисунок 13 – Назначение размеров конечных элементов для горизонтальных границ инженерно-геологических элементов ИГЭ-1... ИГЭ-3 в ПК Midas GTS NX

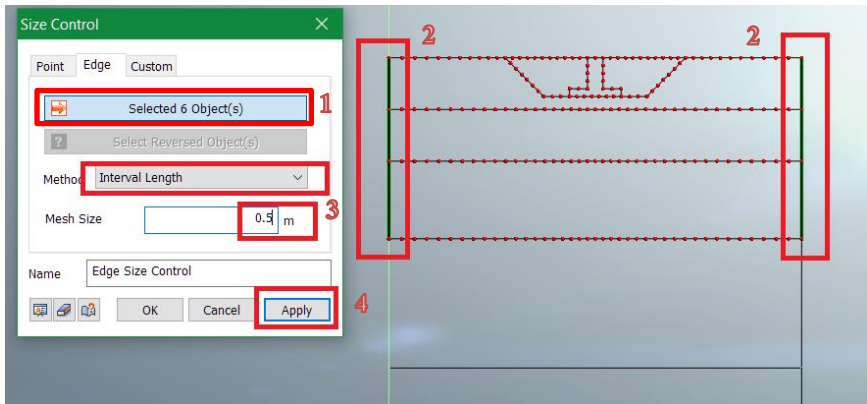


Рисунок 14 – Назначение размеров конечных элементов для вертикальных границ инженерно-геологических элементов ИГЭ-1... ИГЭ-3 в ПК Midas GTS NX

5. 1, 2 – выделяем часть геометрической модели, как показано на рисунке 15 → 3 – Linear Grading (градиентный метод разбиения) и начальный размер элемента - 1 м, конечный размер - 0,5 м → 4 – устанавливаем флажок «Symmetric seeding» (симметричное разбиение) → 5 – Apply (подтвердить). Последовательность действий по назначению размеров элементов горизонтальной границы ИГЭ-4...ИГЭ-5 представлена на рисунке 15.

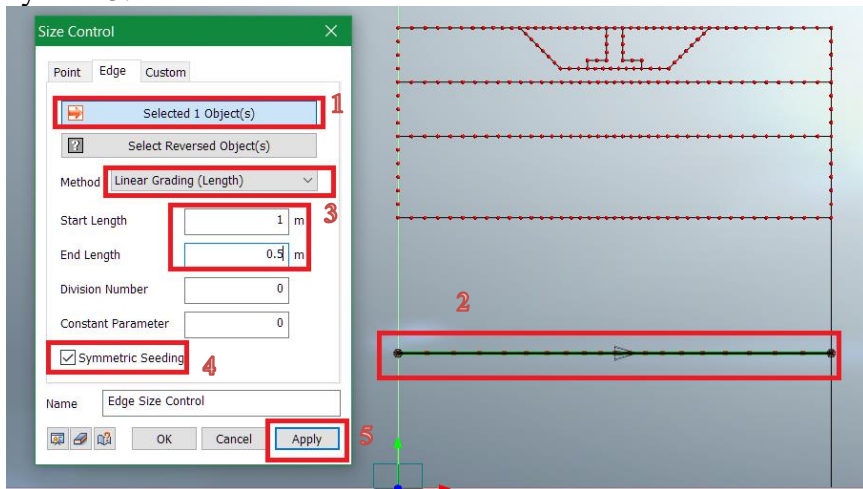


Рисунок 15 – Назначение размеров конечных элементов для горизонтальной границы инженерно-геологических элементов ИГЭ-4, ИГЭ-5 в ПК Midas GTS NX

Для оценки полученных знаний, обучающийся самостоятельно завершает подготовку к созданию КЭ-сеток и назначению размеров элементов:

1. Самостоятельно выделить вертикальные границы ИГЭ-4 и разбить градиентным методом с размером конечных элементов от 0,5 до 1 м;

2. Оставшиеся границы (вертикальные и нижнюю границу модели) ИГЭ-5 разбить интервальным методом с размером конечных элементов 1 м. Конечный результат представлен на рисунке 16.

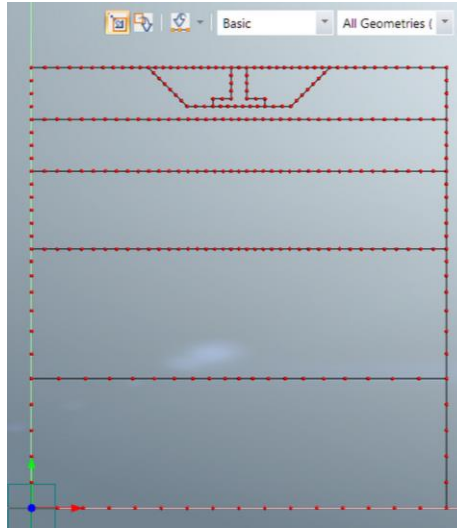


Рисунок 16 – Конечный результат подготовки геометрической модели к созданию КЭ-сеток в ПК Midas GTS NX

Далее переходим к непосредственному созданию КЭ-сеток рассматриваемой модели. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1. Переходим во вкладку *1 – 2D* → *2* – далее *Auto-Area* (авто-область) → *3, 4* – выделяем контур ленточного фундамента, как показано на рисунке 17 → **ничего не меняем в строке *Size Method* (размер элемента)!** → *5* – выбираем из списка свойств «Суглинок тугопластичный» → *6* – вводим название для КЭ-сетки - «фундамент» → *7* – затем *Apply* (подтвердить). Последовательность действий по созданию КЭ-сетки ленточного фундамента представлена на рисунке 17.

2. Далее *1, 2* – выделяем контуры обратной засыпки слева и справа от фундамента, как показано на рисунке 18 → **ничего не меняем в строке *Size Method* (размер элемента)!** → *3* – выбираем из списка свойств «Суглинок тугопластичный» → *4* – вводим название для КЭ-сетки - «Засыпка» → *5* – далее *Apply* (подтвердить). Последовательность действий по созданию КЭ-сетки обратной засыпки представлена на рисунке 18.

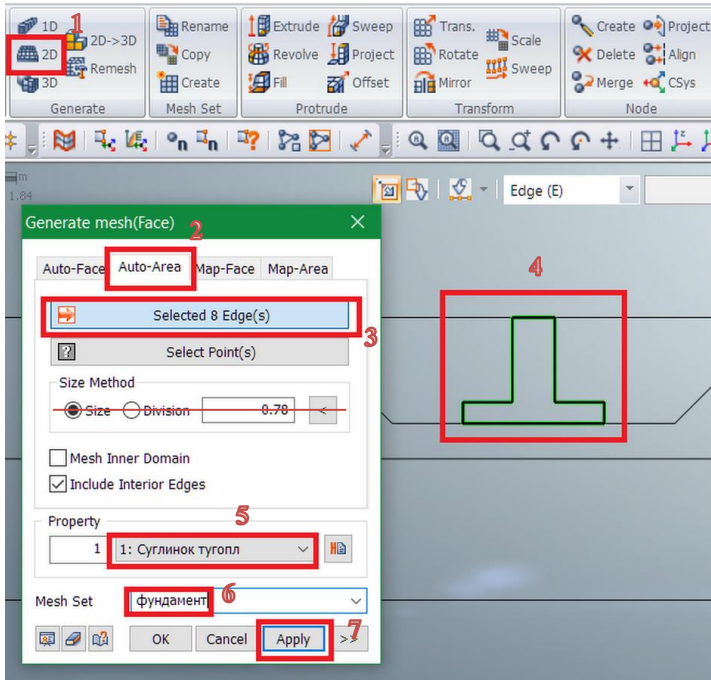


Рисунок 17 – Создание КЭ-сетки ленточного фундамента в ПК Midas GTS NX

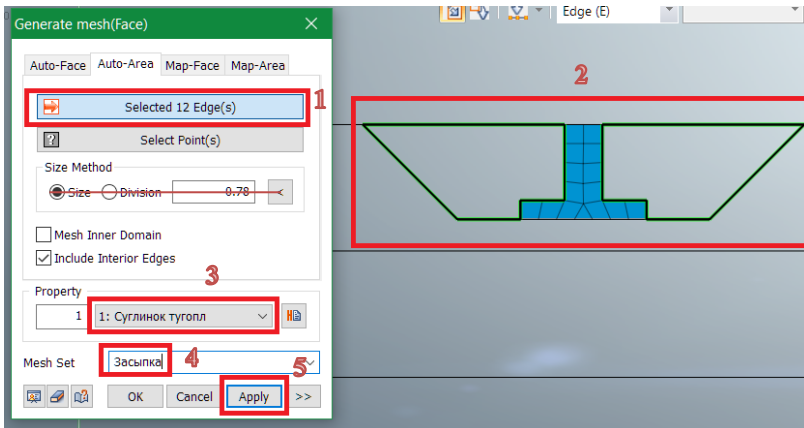


Рисунок 18 – Создание КЭ-сетки обратной засыпки в ПК Midas GTS NX

3. Затем выполняем: 1, 2 – выделяем контур ИГЭ-1 (без учета областей фундамента и засыпки), как показано на рисунке 19 → **ничего не меняем в строке Size Method!** → 3 – выбираем из списка свойств «Суглинок тугопластичный» → 4 – вводим название для КЭ-сетки - «Суглинок тугопластичный» → 5 – далее Apply (подтвердить). Последовательность действий по созданию ИГЭ-1 представлена на рисунке 19.

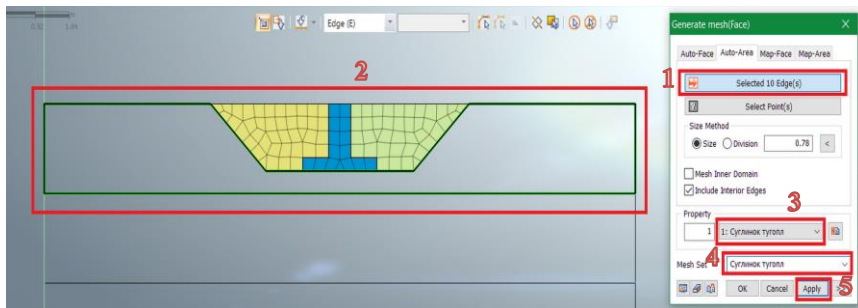


Рисунок 19 – Создание КЭ-сетки ИГЭ-1 (суглинок тугопластичный) в ПК Midas GTS NX

Вышеуказанную последовательность повторяем при создании КЭ-сеток для остальных инженерно-геологических элементов ИГЭ-2 ... ИГЭ-5, присваивая им соответствующие свойства согласно рисунку 10. При этом назначенные свойства для фундамента и грунта обратной засыпки на этом этапе **не задействуются**. На рисунке 20 представлен конечный результат создания КЭ-сеток в ПК Midas GTS NX. Неравномерность и несимметричность КЭ-сетки можно объяснить тем, что при назначении размеров элементов использовался градиентный метод (рисунок 14, 15).

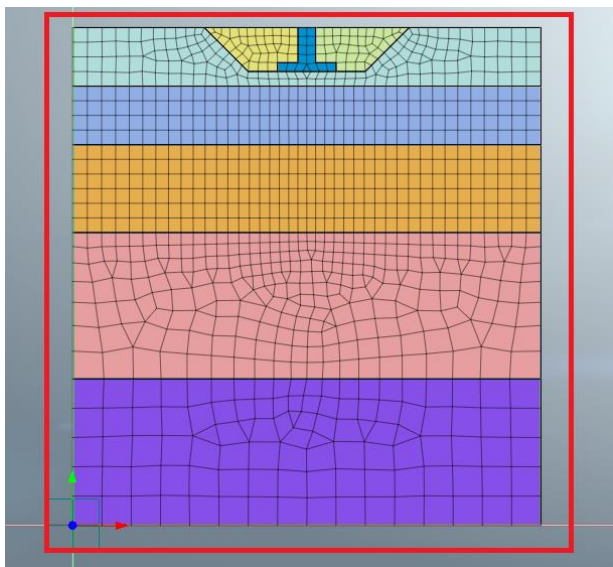


Рисунок 20 – Конечный результат создания КЭ-сеток в ПК Midas GTS NX

Этап 4. Граничные условия (Boundary set)

Рассматриваемый этап 4 заключается в назначении общих и локальных граничных условий конечно-элементной модели. Под общими граничными условиями понимается ограничение горизонтальных перемещений по вертикальным границам и жесткая заделка нижней границы представленной модели. Под локальными понимается изменения свойств материалов определенных областей (участков) модели. Например, устройство фундамента в ПК Midas GTS NX может выполняться посредством изменения свойств грунта основания на железобетон. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

1. **Общие граничные условия** - переходим во вкладку 1 – *Static/Slope Analysis (статический анализ/анализ устойчивости)* → 2 – далее *Constraint (ограничения)* → 3 – затем *Auto (авто)* → 4 – устанавливаем флажок «*Consider all mesh*» (*Включить все сетки*) → 5– вводим название «*Граничные условия*» → 6 – далее *Apply (подтвердить)*. Последовательность

действий по формированию общих граничных условий представлена на рисунке 21.

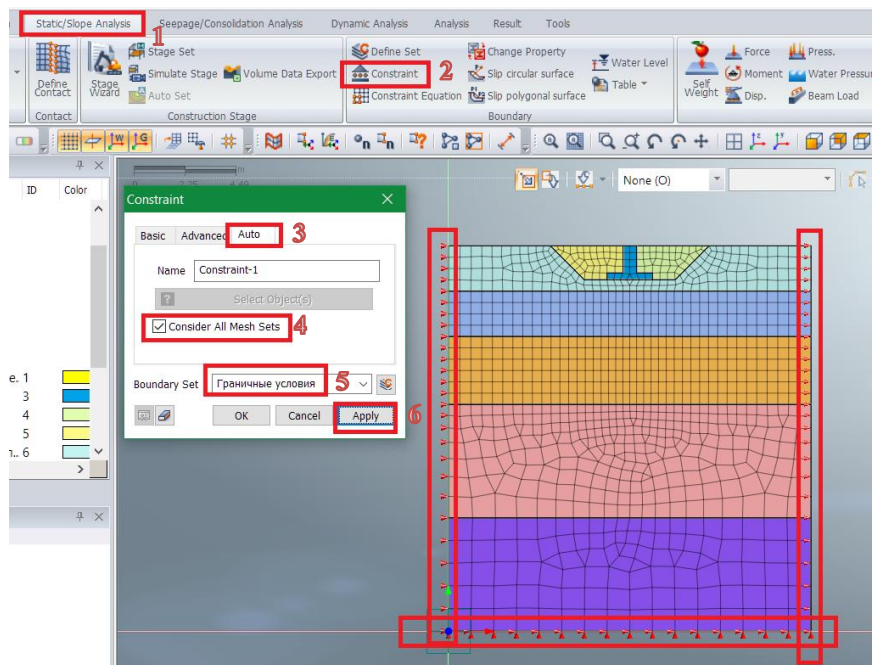


Рисунок 21 – Общие граничные условия конечно-элементной модели в ПК Midas GTS NX

2. **Локальные граничные условия** - переходим во вкладку 1 – далее *Static/Slope Analysis (статический анализ/анализ устойчивости)* → 2 – затем *Change Property (изменить свойства)* → 3, 4 – выбираем конечные элементы фундамента, как показано на рисунке 22 → 5 – выбираем из списка свойство «фундамент» и присваиваем такое же название → 6 – далее *Apply (подтвердить)*. Последовательность действий по формированию локальных граничных условий представлена на рисунке 22.

Не закрывая вкладку 1 – *Change Property* изменить свой-ства) → 2, 3 – выбираем конечные элементы обратной за-сыпки, как показано на рисунке 23 → 4 – выбираем из списка свойство «засыпка» и присваиваем такое же название → 5 – далее *Apply* (подтвердить). Последовательность действий по по формированию локальных граничных условий представ-лена на рисунке 23.

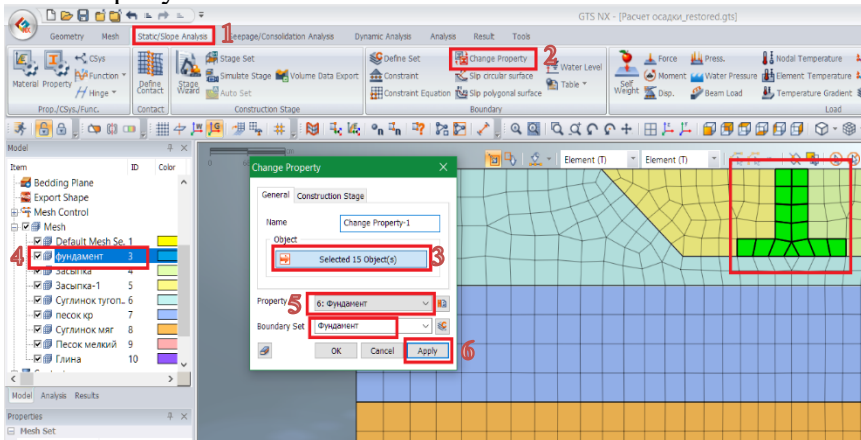


Рисунок 22 – Локальные граничные условия по изменению свойств обла-сти ленточного фундамента, моделирующие его устройство из монолит-ного железобетона в ПК Midas GTS NX

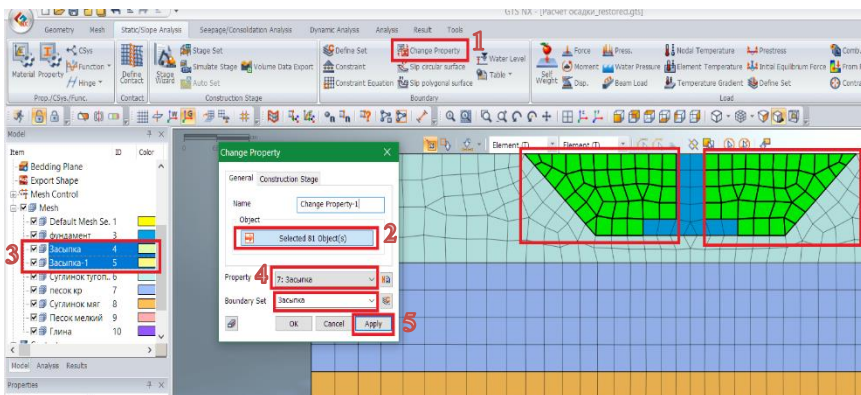


Рисунок 23 – Локальные граничные условия по изменению свойств обла-сти обратной засыпки в ПК Midas GTS NX

Этап 5. Нагрузки (Load set)

Программный комплекс Midas GTS NX позволяет создавать различные загрузки: сосредоточенные, равномерно/неравномерно распределенные, температурные, динамические и др. В представленном выше примере будут рассмотрены наиболее простые варианты приложения нагрузок.

1. Собственный вес строительных конструкций и грунтов основания. Переходим во вкладку 1 – *Self Weight (собственный вес)* → 2 – далее выбираем направление действия нагрузки «Coordinate - Global Rectangular» → 3 – в строке G_y вводим «-1» → 4 – вписываем название «Собственный вес» → 5 – далее *Apply (подтвердить)*. Последовательность действий по приложению собственного веса представлена на рисунке 24.

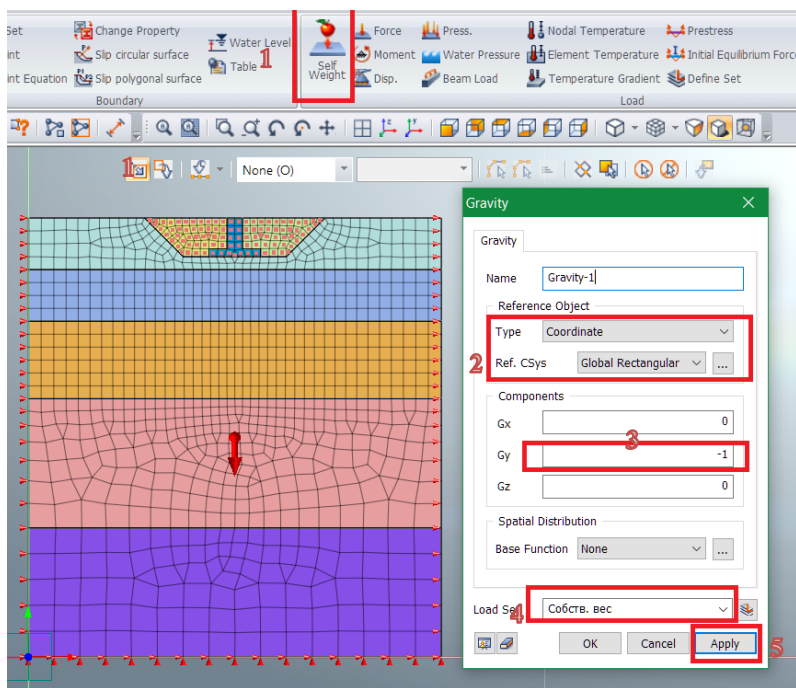


Рисунок 24 – Приложение собственного веса в ПК Midas GTS NX

2. Среднее давление по подошве ленточного фундамента. Не закрывая вкладку → 1-3 – выбираем элементы подошвы фундамента Edge, как показано на рисунке 25 → 4 – выбираем направление действия нагрузки Normal (нормальное) → 5 – вводим величину нагрузки в строку «P or P1» равное 150 кН/м → 6 – вписываем название «Давление по подошве» → 7 – далее Apply (подтвердить). Последовательность действий по приложению давления по подошве фундамента представлена на рисунке 25.

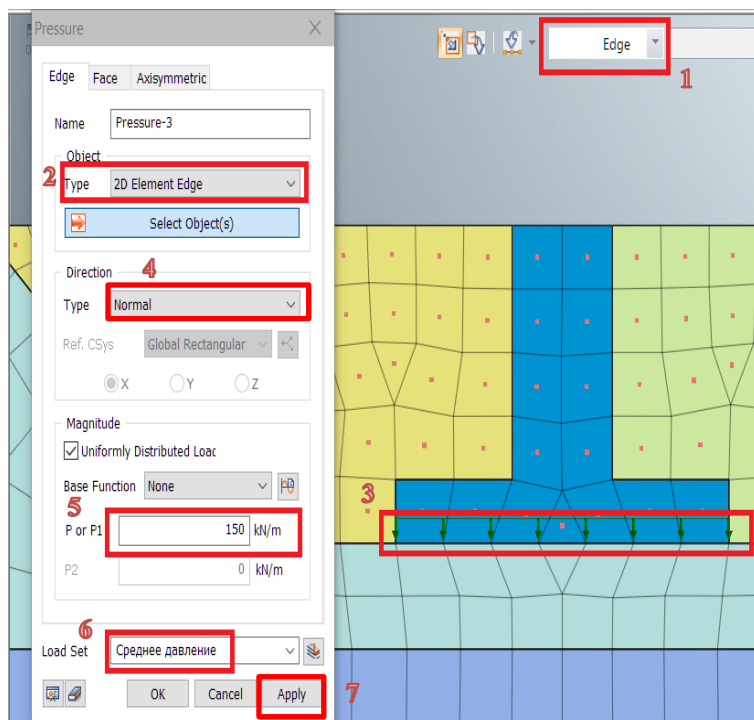


Рисунок 25 – Приложение давления по подошве фундамента в ПК Midas GTS NX

4 ПОРЯДОК РАСЧЕТА ОСАДКИ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА С УЧЕТОМ ЭТАПНОСТИ ЕГО УСТРОЙСТВА

Одна из особенностей ПК Midas GTS NX заключается в возможности моделирования последовательности устройства различных строительных конструкций зданий, сооружений. В рассматриваемом примере расчета осадки ленточного фундамента выделяются следующие этапы:

- Этап 1 – расчет напряжений от собственного веса грунта (определения напряжений до начала работ по устройству котлована и фундамента);
- Этап 2 – устройство котлована, затем ленточного фундамента;
- Этап 3 – обратная засыпка пазух фундамента глинистым грунтом по периметру здания;
- Этап 4 – приложение действующего давления по подошве фундамента и расчет его конечной осадки от нагрузок на основание от всего здания.

Для описания этапов устройства ленточного фундамента в программном комплексе Midas GTS NX необходимо выполнить следующие действия: переходим во вкладку 1 – *Static/Slope Analysis* → 2 – далее *Stage set (этапы)* → 3 – затем вводим название «*Стадийный расчет*» → 4 – выбираем тип расчета «*Stress*» (расчет напряжений и деформаций) → 5 – добавляем новую последовательность «*Add*». Последовательность действий по созданию стадийного расчета представлена на рисунке 26. Двойным нажатием левой клавиши мыши по строке стадийного расчета открывается окно создания этапов расчета, далее выполняем следующие действия:

Этап 1 - 1 – вводим название «*Собственный вес*» → 2 – далее переносим элементы из колонки *Set Data (ввод)* в колонку *Activated Data (активные)*, как показано на рисунке 27 → 3 – устанавливаем флажок «*Define water level*» (УГВ) и значение

12 м* → 4 – устанавливаем флажок в строке *Clear Displacement* (обнулить перемещения) → 5 – далее *Save* (сохраняем). Для задания УПВ вводится расстояние от нижней границы ИГЭ -5 до уровня грунтовых вод по заданию. Последовательность действий по созданию этапа 1 представлена на рисунке 27.

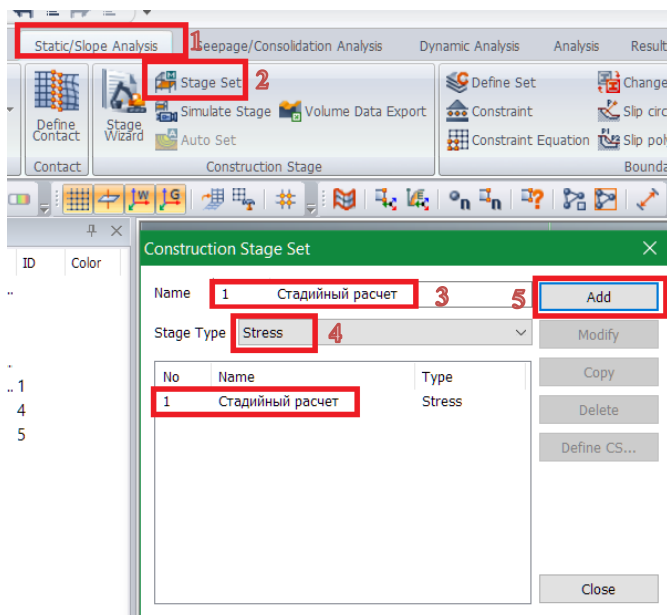


Рисунок 26 – Создание стадийного расчета в ПК Midas GTS NX

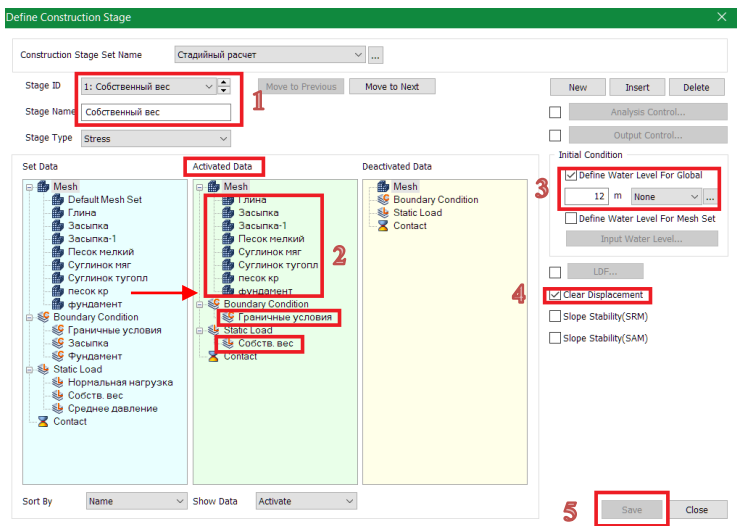


Рисунок 27 – Создание стадийного расчета в ПК Midas GTS NX (этап 1)

Этап 2 – 1 – создаем новый этап «New» → 2 – вводим название «Устройство фундамента» → 3, 4 – далее переносим в колонку Activated Data (активные) граничные условия для фундамента, в колонку Deactivated Data (неактивные) КЭ-сетки обратной засыпки, как показано на рисунке 28 → 5 – далее Save (сохраняем). Последовательность действий по созданию этапа 2 представлена на рисунке 28.

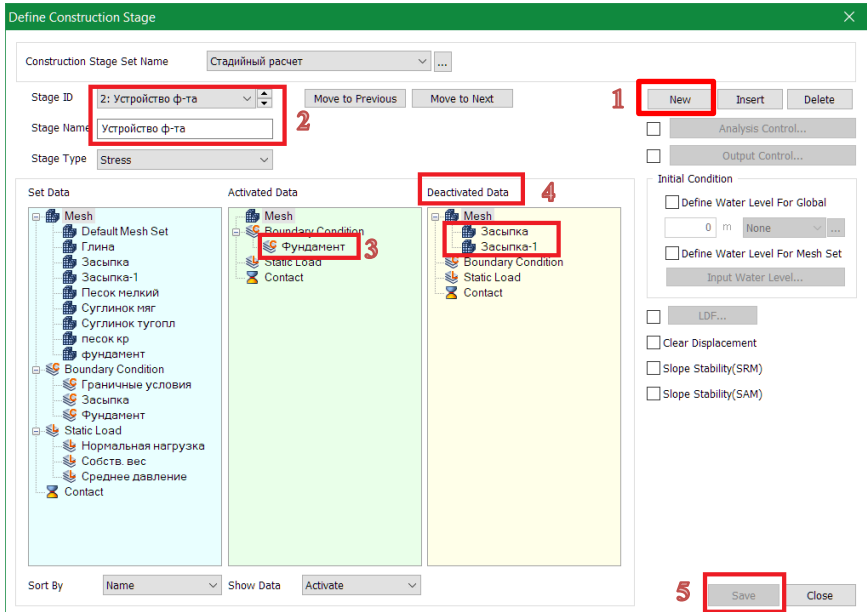


Рисунок 28 – Создание стадийного расчета в ПК Midas GTS NX (этап 2)

Этап 3 – 1 – создаем новый этап «New» → 2 – вводим название «Засыпка» → 3 – далее переносим в колонку Activated Data (активные) граничные условия и КЭ-сетки обратной засыпки, как показано на рисунке 29 → 4 – далее Save (сохраняем). Последовательность действий по созданию этапа 3 представлена на рисунке 29.

Этап 4 – 1 – создаем новый этап «New» → 2 – вводим название «Нагрузка» → 3 – переносим в колонку Activated Data (активные) среднее давление по подошве, как показано на рисунке 30 → 4 – далее Save (сохраняем). Последовательность действий по созданию этапа 4 представлена на рисунке 30.

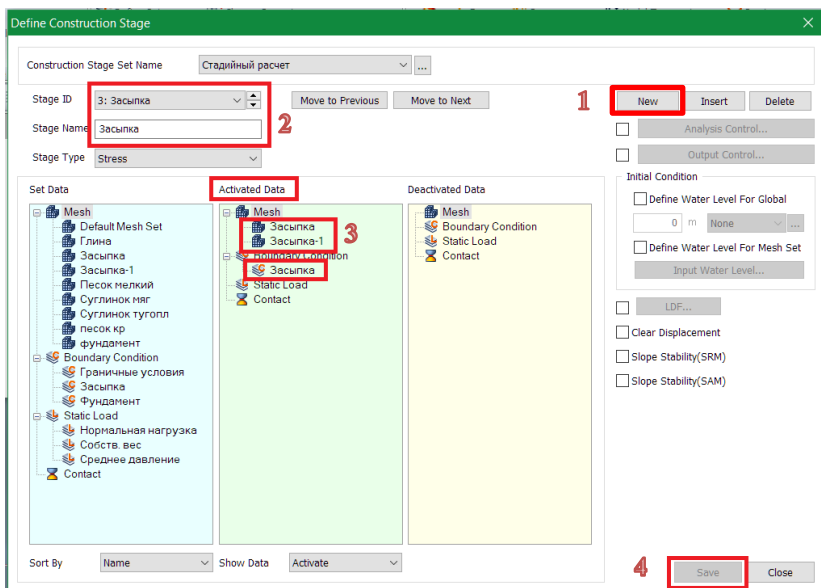


Рисунок 29 – Создание стадийного расчета в ПК Midas GTS NX (этап 3)

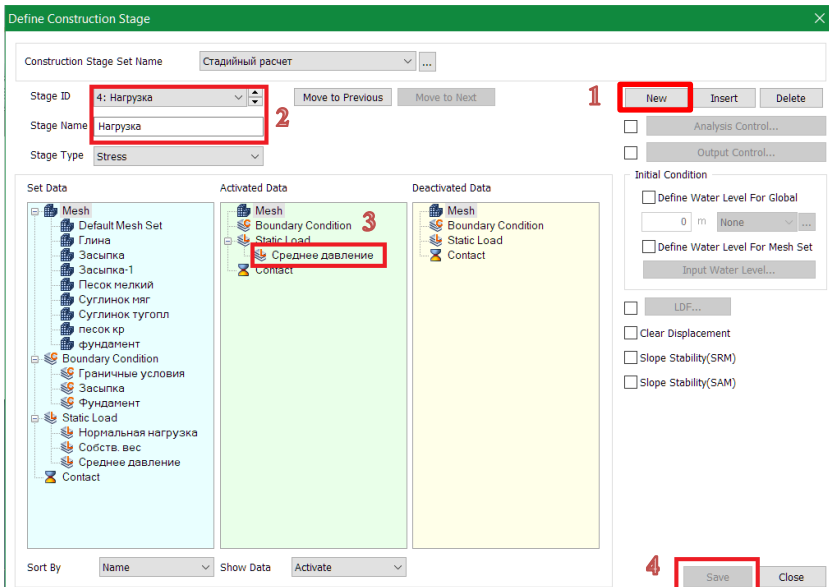


Рисунок 30 – Создание стадийного расчета в ПК Midas GTS NX (этап 4)

На стадии определения этапов устройства лентчного фундамента работа по подготовке конечно-элементной модели к расчету считается завершенной. Теперь достаточно сформировать расчетный случай *Analysis Case (анализ)* и запустить программный комплекс на расчет. Переходим во вкладку 1 – *Analysis (анализ)* → 2 – затем *General (общее)* → 3 – вписываем название «Расчет осадки» → 4 – выбираем тип расчета *Construction stage (Этапы строительства)* и созданный ранее *статийный расчет* → 5 – открываем свойства расчета *Analysis control (контроль расчета)* → 6-12 – настраиваем расчет, как показано на рисунке 31 → 13 – далее подтверждаем *ОК (okay)*. Последовательность действий по настройке расчета представлена на рисунке 31.

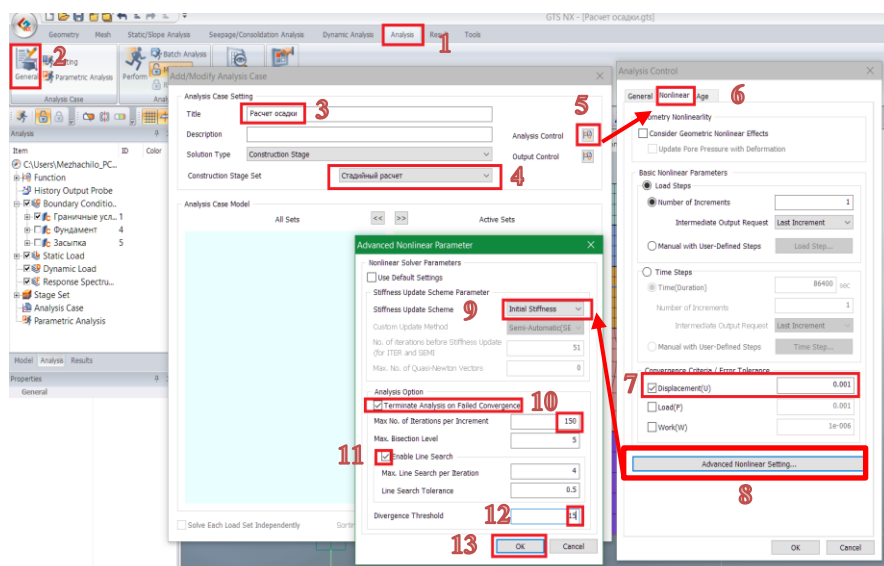


Рисунок 31 – Создание расчетного случая в ПК Midas GTS NX

Расчет запускается на той же вкладке *1 – Analysis (анализ)* → *2 – далее Perform (выполнить)* → *3 – устанавливаем флажок на созданном расчетном случае «Расчет осадки»* → *4 – подтверждаем ОК (окау) и программа производит расчет*. Последовательность действий по запуску расчета представлена на рисунке 32.

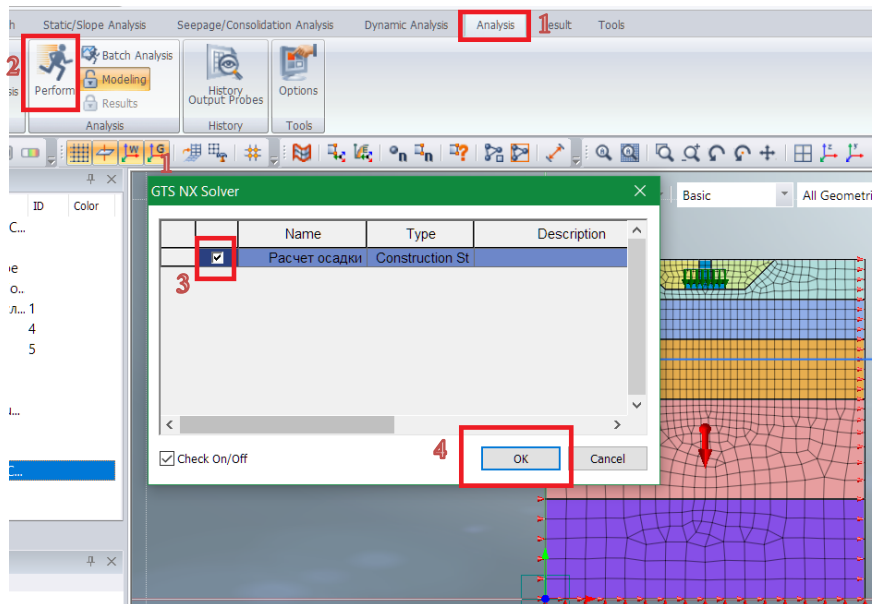
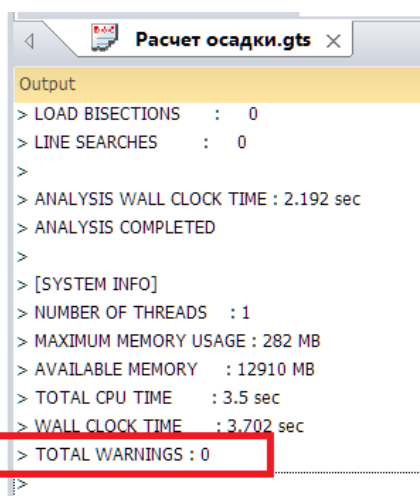


Рисунок 32 – Запуск расчета в ПК Midas GTS NX

Таким образом, вышерассмотренный раздел 4 знакомит обучающегося с основами создания конечно-элементных моделей, назначения граничных условий, приложения нагрузок и формирования стадий расчетов.

5 АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В программном комплексе Midas GTS NX можно предварительно оценить полученные результаты расчета. По окончании расчета программный комплекс выдает служебную информацию о количестве найденных ошибок в конечно-элементной модели или при назначении материалов и свойств. На рисунке 33 показан пример успешно завершеного расчета. Обучающийся сразу должен обратить внимание на строку «*Total Warnings*» (суммарное количество ошибок), в которой должно стоять значение 0.



```
Output
> LOAD BISECTIONS      : 0
> LINE SEARCHES       : 0
>
> ANALYSIS WALL CLOCK TIME : 2.192 sec
> ANALYSIS COMPLETED
>
> [SYSTEM INFO]
> NUMBER OF THREADS    : 1
> MAXIMUM MEMORY USAGE : 282 MB
> AVAILABLE MEMORY     : 12910 MB
> TOTAL CPU TIME       : 3.5 sec
> WALL CLOCK TIME      : 3.702 sec
> TOTAL WARNINGS      : 0
```

Рисунок 33 – Служебная информация о завершении расчета осадки рассматриваемого примера в ПК Midas GTS NX

Программный комплекс Midas GTS NX обладает широким спектром инструментов для вывода результатов расчета в виде таблиц, цветных мозаик, графиков или диаграмм. В данном примере рассматривается алгоритм вывода результатов в виде мозаик вертикальных напряжений и перемещений в основании ленточного фундамента. Для оценки полученных перемеще-

ний/напряжений в основании необходимо выполнить следующие действия: переходим во вкладку 1 – *Result (результаты)* → 2 – *выбираем этап 4 «Нагрузка»* → 3 – *полные перемещения Total translations (полные перемещения)* → 4 – *во вкладке основных свойств отображения графики Edge type (грань) изменяем на Mesh Edge (сетка)* → 5 – *по цветной легенде определяем величину конечной осадки – 4,37 см, как показано на рисунке 34.* Последовательность действий по отображению мозаик перемещений в основании представлена на рисунке 34.

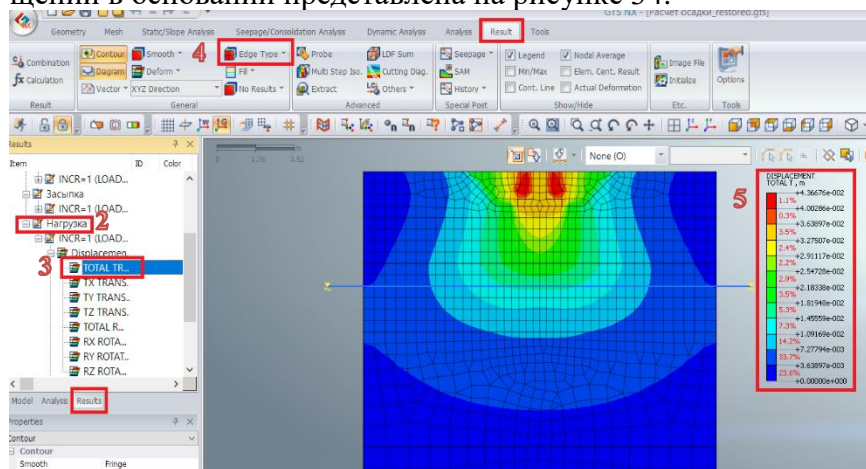


Рисунок 34 – Мозаика вертикальных перемещений в основании ленточного фундамента в ПК Midas GTS NX

По итогам работы в ПК Midas GTS NX обучающемуся необходимо отразить в разделе 5 пояснительной записки рисунки расчетной схемы, конечно-элементной модели и мозаики напряжений, перемещений для рассмотренных этапов 1-4. Мозаики представлены в *Приложении 1, 2* (рисунки П1-П7). Мозаики перемещений и напряжений можно сохранить в отдельную директорию как изображения с расширением файла *png*, выполнив следующие действия: вкладка 1 – *Result (результаты)* → 2 – *далее Image file (Изображения)* → 3 – *устанавливаем флажок Consider all steps (включить все этапы)* → 4, 5

– отмечаем строки *Total Translation* (полные перемещения) и *S-YY Total* (напряжения по *oY*), как показано на рисунке 35 → 6 – затем *Image Format* – *PNG* (Формат изображений) → 7 – далее *Output type* – *Image* (вывод результатов) → 8, 9 – выбираем директорию сохранения и называем файл, например, «Результаты» → 10 – нажимаем *Execute* (извлечь). Последовательность действий по выводу результатов представлена на рисунке 35.

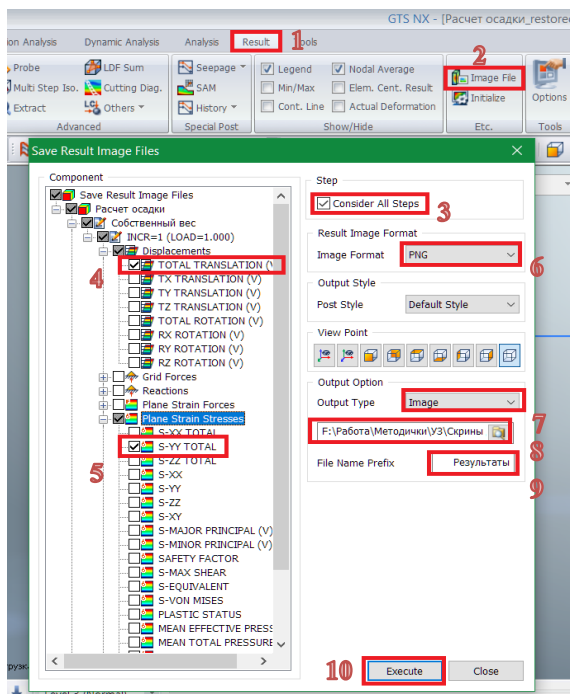


Рисунок 35 – Вывод результатов расчета в ПК Midas GTS NX

Таким образом, на основании стандартной 2D (плоской) задачи по расчету осадок ленточного фундамента обучающийся приобретает базовые навыки и умения в вопросах численного моделирования в программном комплексе Midas GTS NX, которые затем могут применяться для выполнения выпускных квалификационных работ различного уровня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чернявский Д. А., Болгов И. В.** Методические рекомендации на тему: «Проектирование оснований и фундаментов многоэтажного здания» по дисциплине: «Основания и фундаменты сооружений». – Краснодар, 2015 г. – 64 с.
2. **Мангушев Р.А., Карлов, В. Д., Сахаров, И. И.** Механика грунтов / учебник: - М.: Изд-во АСВ, 2014. – 256 с
3. **Полищук А. И.** Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий: научно-практическое пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 104 с.
4. **Парамонов В.Н.** Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники. - СПб: Геореконструкция, 2012 - 262 с.
5. **Бате Н., Вилсон Е.** Численные методы анализа и метод конечных элементов. – М.: Стройиздат, 2002. – 448 с.
6. **А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров.** Компьютерные модели конструкций - Киев: Факт, 2005 – 384 с.
7. **Полищук А.И., Межаков А.С.** Моделирование работы геотехнического барьера в слабых глинистых грунтах, устраиваемого для защиты существующих зданий от влияния нового строительства. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 131. С. 1556-1570.
8. **Межаков А. С.** Влияние разделительного шпунтового ряда, устраиваемого между фундаментами эксплуатируемых зданий, на их осадки Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 2. С. 124-129.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Мозаики напряжений в основании ленточного фундамента в ПК Midas GTS NX

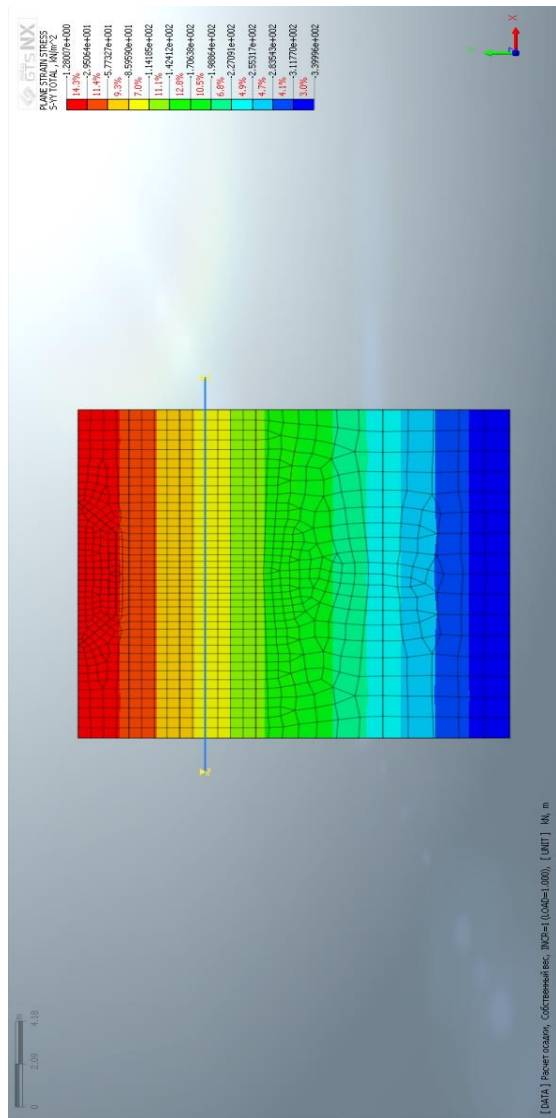


Рисунок П1 – Вертикальные напряжения от собственного веса грунта в ПК Midas GTS NX

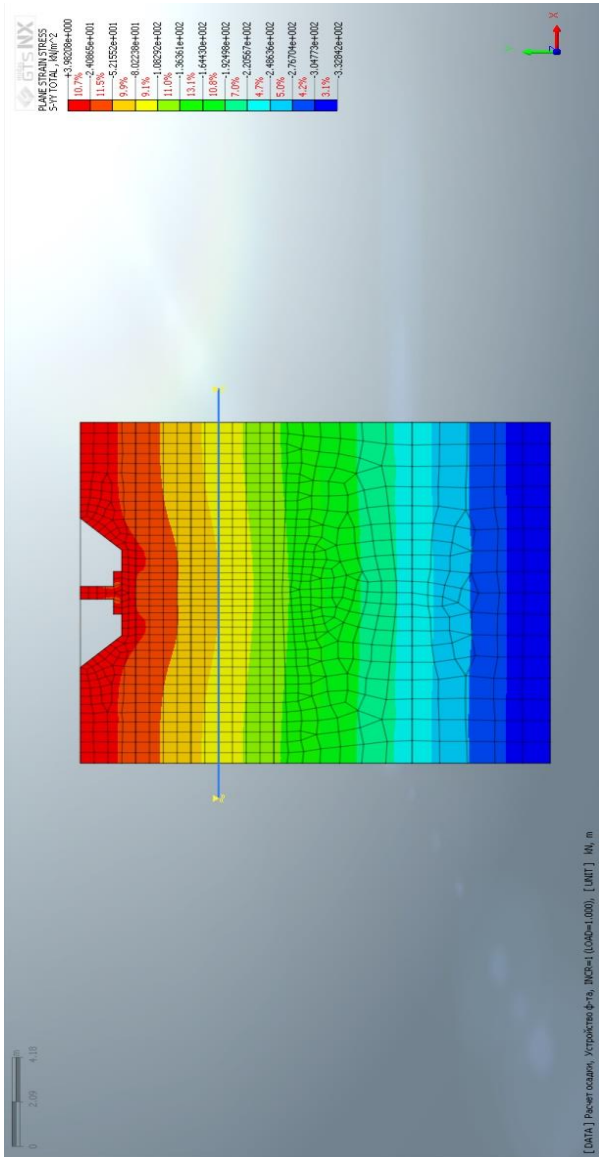


Рисунок П2 – Вертикальные напряжения от разработки котлована и устройства фундамента в ПК Midas GTS NX

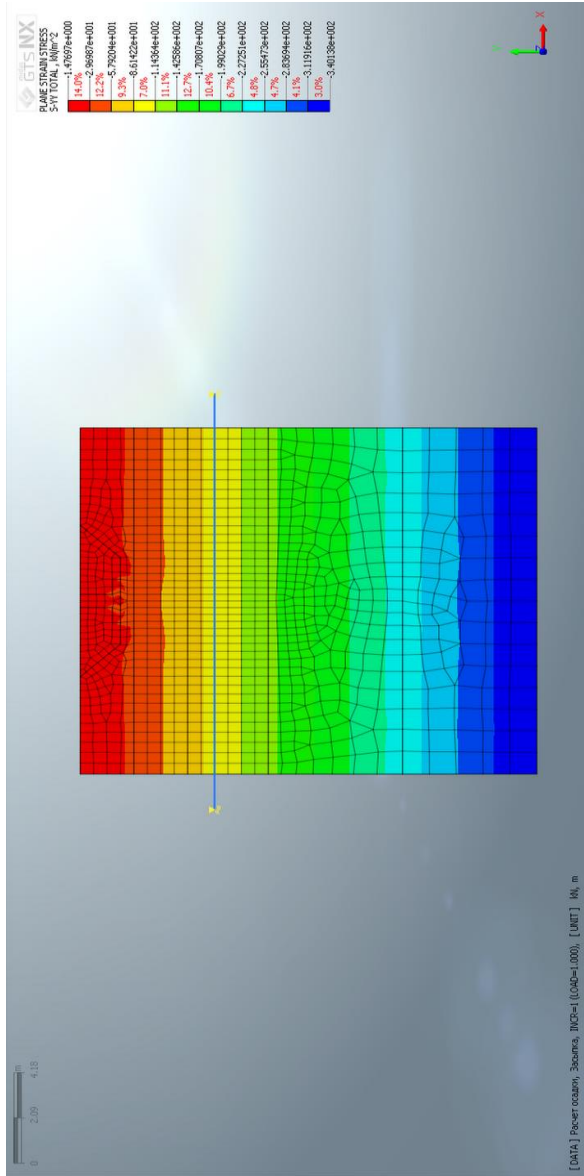


Рисунок ПЗ – Вертикальные напряжения при обратной засыпке пазух фундамента в ПК Midas GTS NX

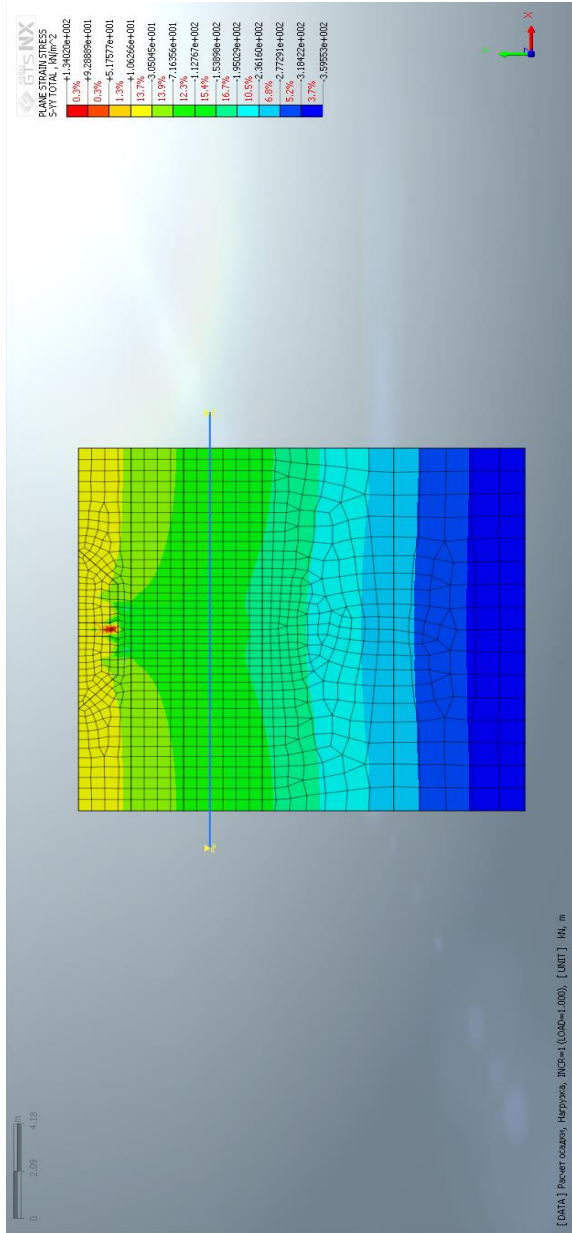


Рисунок П4 – Вертикальные напряжения при приложении нагрузки на фундамент в ПК Midas GTS NX

Приложение 2

Мозаики перемещений в основании ленточного фундамента в ПК Midas GTS NX

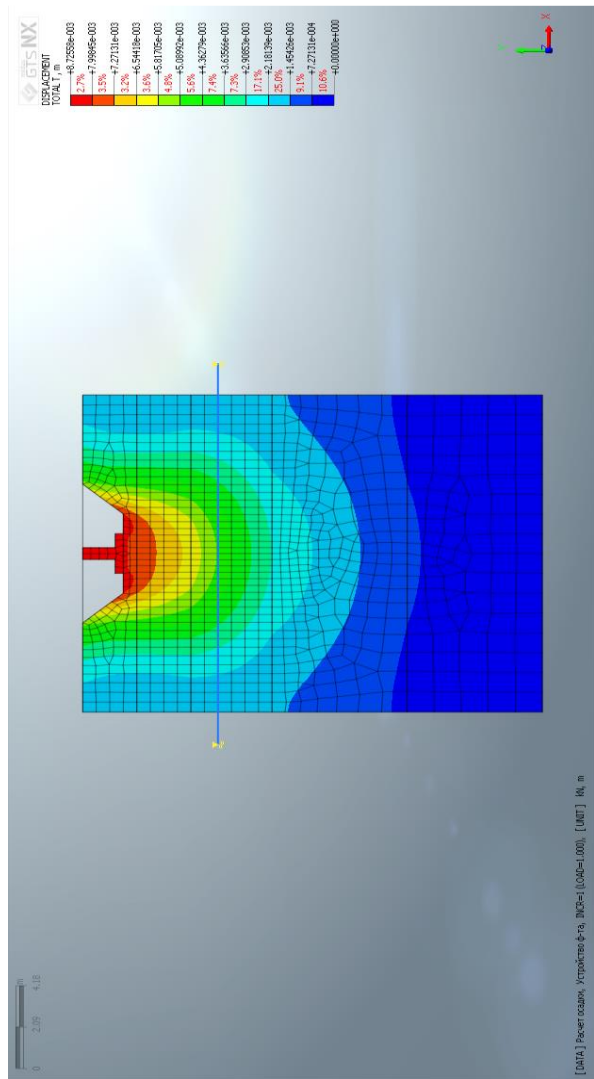


Рисунок П5 – Вертикальные перемещения в основании при отколке котлована и устройстве фундамента ПК Midas GTS NX

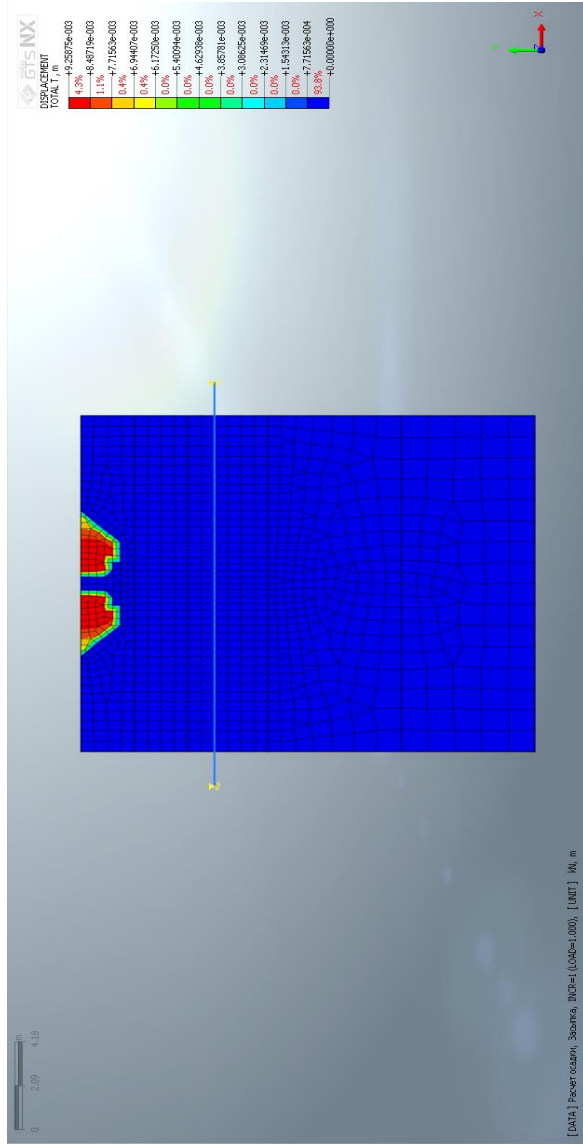


Рисунок П6 – Вертикальные перемещения при обратной засыпке пазух фундамента в ПК Midas GTS NX

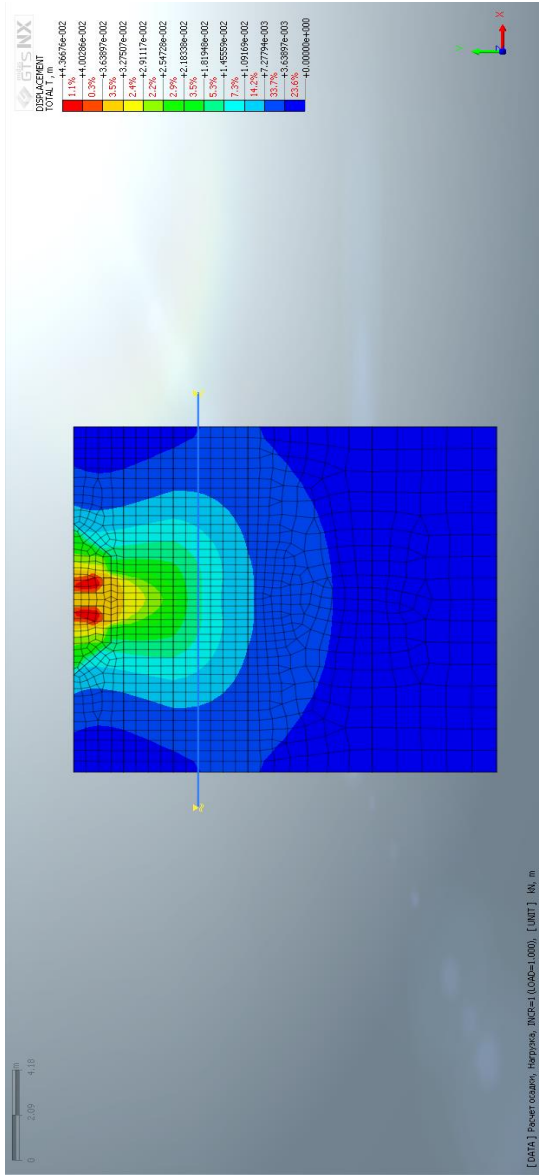


Рисунок П7 – Вертикальные перемещения при приложении нагрузки на фундамент в ПК Midas GTS NX

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА MIDAS GTS NX	4
2 ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ОСАДОК ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ	6
3 АЛГОРИТМ СОЗДАНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ И ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА	12
4 ПОРЯДОК РАСЧЕТА ОСАДКИ ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА С УЧЕТОМ ЭТАПНОСТИ ЕГО УСТРОЙСТВА	30
5 АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	37
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	40
ПРИЛОЖЕНИЯ	41

**РАСЧЕТ ОСАДОК ЛЕНТОЧНОГО ФУНДАМЕНТА
ГРАЖДАНСКОГО МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ MIDAS GTS NX**

Методические рекомендации

Составители: **Полищук** Анатолий Иванович,
Межаков Александр Сергеевич,
Болгов Игорь Васильевич

Подписано в печать 24.04.2019. Формат 60 × 84 ¹/₁₆.

Усл. печ. л. – 2,9. Уч.-изд. л. – 2,3.

Тираж 60 экз. Заказ №

Типография Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13

ПОЛИЩУК

Анатолий Иванович

Заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина, доктор технических наук, профессор, заслуженный строитель РФ, почетный работник высшего профессионального образования РФ. Автор (соавтор) более 250 научных печатных работ, включая 6 монографий, 2 справочников, 2 региональных нормативных документа, 15 учебных и научно-практических пособий, 35 патентов РФ на изобретения и полезные модели.

МЕЖАКОВ

Александр Сергеевич

Ассистент, аспирант кафедры «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина. Научно-практические интересы: совершенствование способов устройства фундаментов зданий в условиях плотной городской застройки и методов их расчета, компьютерное моделирование работы фундаментов реконструируемых зданий, решение геотехнических задач. Автор 18 научных печатных работ.

БОЛГОВ

Игорь Васильевич

Старший преподаватель кафедры «Основания и фундаменты» Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина. Научно-практические интересы: совершенствование способов устройства фундаментов резервуаров, решение геотехнических задач. Автор 10 научных печатных работ.