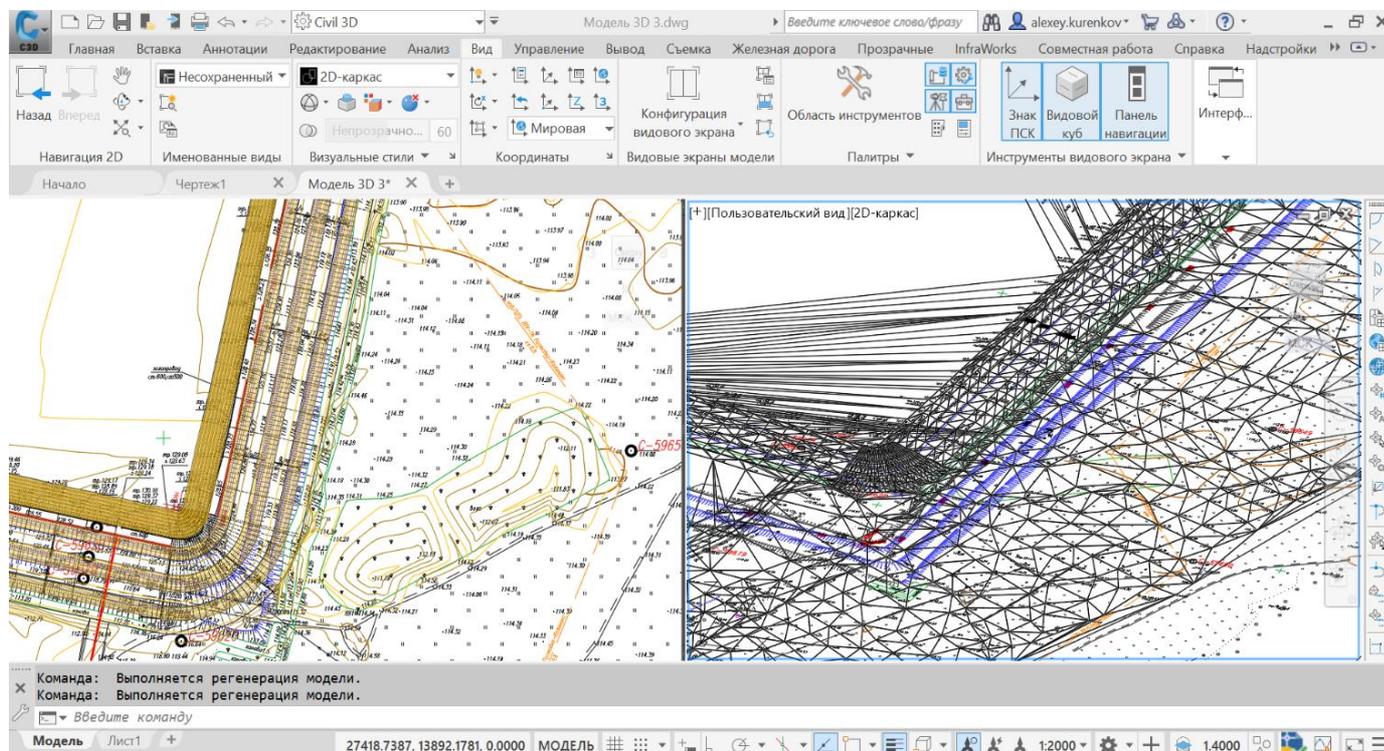


Использование технологий 3D информационного моделирования при проектировании хранилищ промышленных предприятий



Хранилища (шламонакопители и хвостохранилища) отходов промышленных предприятий являются отдельной категорией гидротехнических сооружений, к проектированию и экологической безопасности которых предъявляются особые требования. Основными задачами, которые должны быть решены при проектировании, являются обеспечение устойчивости ограждающих дамб, предотвращение инфильтрации загрязняющих веществ в окружающую среду, обеспечение заданной емкости хранилища и перспективного увеличения его объема. В статье рассматривается решение этих задач на примере проектирования шламохранилища равнинного типа с использованием BIM технологий на основе профессиональных программных продуктов Carlson Geology, Civil 3D, Plaxis. Каждая из этих программ решает свои собственные задачи, но при этом обеспечивается обмен информацией, в результате чего создается 3D информационная модель объекта с выполненными необходимыми фильтрационными и прочностными расчетами.

Куренков Алексей Сергеевич

Ведущий инженер отдела САПР Инфраструктура и горное дело ООО «НИП-Информатика»

Лиферова Ольга Львовна

Начальник отдела САПР Инфраструктура и Горное дело ООО «НИП-Информатика»

Федоренко Евгений Владимирович

Научный консультант ООО «НИП-Информатика», к.г.-м.н.

Введение

Шламохранилища крупных горнообогатительных предприятий и комбинатов могут достигать в высоту более 200 м и иметь внушительные объемы складированных материалов – отходов («хвостов») – десятки миллионов кубических метров. В практике эксплуатации таких сооружений нередки случаи необходимости наращивания объемов складирования.

Основным и важным элементом шламоохранилища является ограждающая дамба, которая по принципу работы сопоставима с грунтовыми плотинами и дамбами водохранилищ. Это сложное искусственное сооружение оказывает существенное влияние на природную среду, а аварии приводят к экологическим катастрофам. Мировая статистика свидетельствует, что далеко не всегда ранее построенные дамбы справлялись с природными процессами и явлениями.

По данным статьи [1], количество катастрофических аварий на хвостохранилищах в мире в период с 1955 по 2010 год в среднем составляет около 9 событий за 5 лет. Максимальное количество случаев наблюдалось в период с 1965 по 1969 гг. и составило 14 аварий, а в период с 2000 по 2004 гг. – 12 аварий. Серьезные аварии на хвостохранилищах чаще всего происходят из-за прорыва или полного разрушения удерживающих их дамб с поступлением огромного количества токсичных отходов в окружающую среду. Одна из причин катастроф – ошибки на этапе проектирования, а также недостаточный учет природных и техногенных факторов.

Проект шламоохранилища, как и любого инфраструктурного объекта, должен быть разработан на основе анализа рельефа, гидрологической ситуации и геологического строения участка для размещения хранилища, что позволит повысить надежность объекта и качество его эксплуатационных характеристик. Процесс проектирования состоит в основном из 3-х этапов: 1) анализа геологического строения; 2) проектирования планировочных работ и основных сооружений: ограждающей дамбы, технологических дорог; 3) геотехнического анализа сложной природно-техногенной системы «сооружение-грунтовое основание». Далее эти этапы рассмотрены подробнее на реальном примере.

Этап 1. Обработка данных инженерно-геологических изысканий

Данные инженерно-геологических изысканий обычно представлены в виде геологических колонок и физико-механических характеристик грунтов. Эта информация была использована в программе Carlson Geology для создания 3D геологической модели, анализа участка на основе этой модели и далее для проектирования сооружений и геотехнических расчетов. Следует отметить, что в программе можно использовать исходные данные различных форматов, а удобные команды для работы со скважинами позволяют упростить поиск ошибок и их коррекцию.

Геологическая модель в Carlson Geology представляет собой набор сеток подошв грунтов. При этом программа автоматически обрабатывает выклинивания и несогласные залегания. Имеется инструмент для моделирования линз.

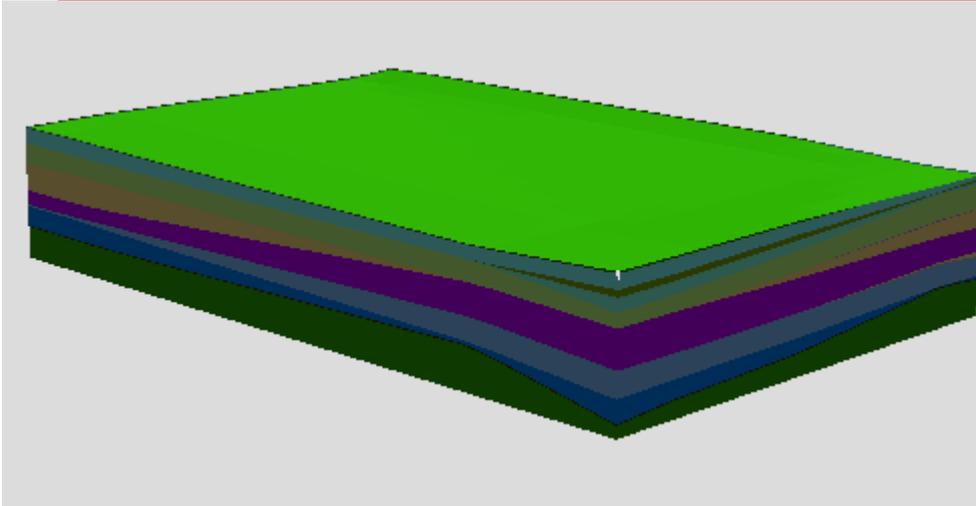


Рис. 1. 3D блок-диаграмма геологической модели

Созданный набор 3D сеток используется для анализа геологического строения участка и получения отчетов в графической форме: разрезов, карт изолиний. На рисунке 2 представлен разрез по оси дамбы. На разрез можно также выводить дополнительные поверхности – уровни грунтовых вод, глубины промерзания, построенные по данным гидрогеологических изысканий.

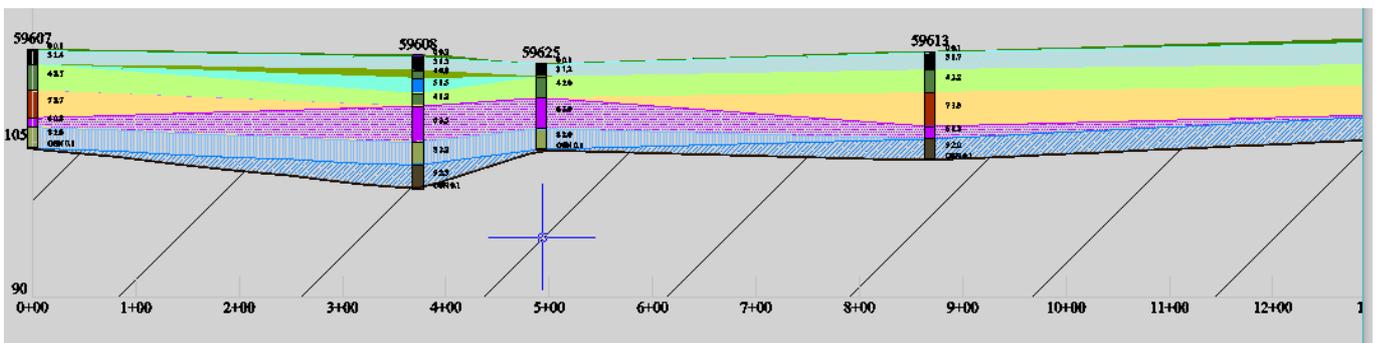


Рис. 2. Разрез по оси дамбы (часть)

В Carlson Geology имеются очень простые и полезные инструменты по объединению грунтов со схожими свойствами, например по трудности разработки, или выделение групп слабых и прочных грунтов. С помощью 3D геологической модели можно легко вывести в чертеж области залегания и подсчитать объемы слабых грунтов. Интересной возможностью является определение выходов грунтов на дно проектируемого хранилища. Так, для рассматриваемого объекта, в соответствии с рекомендациями [2], необходимо было определить, области залегания слабых и сильносжимаемых грунтов с целью принятия решения о необходимости их выторфовывания.

Для проектирования гидротехнического сооружения построенные поверхности грунтов передаются в проектные группы через формат LandXML.

Этап 2. Проектирование в Civil 3D

Немаловажной задачей перед началом проектирования является анализ существующего рельефа. На основе инженерно-геодезических данных была получена поверхность в Civil 3D. Это позволяет получать правильные разрезы и сечения, а на ключевых местах точные

отметки проектных решений. Результатом этого станет повышение качества получаемой документации, точность объемов и автоматизация рутинных процессов.

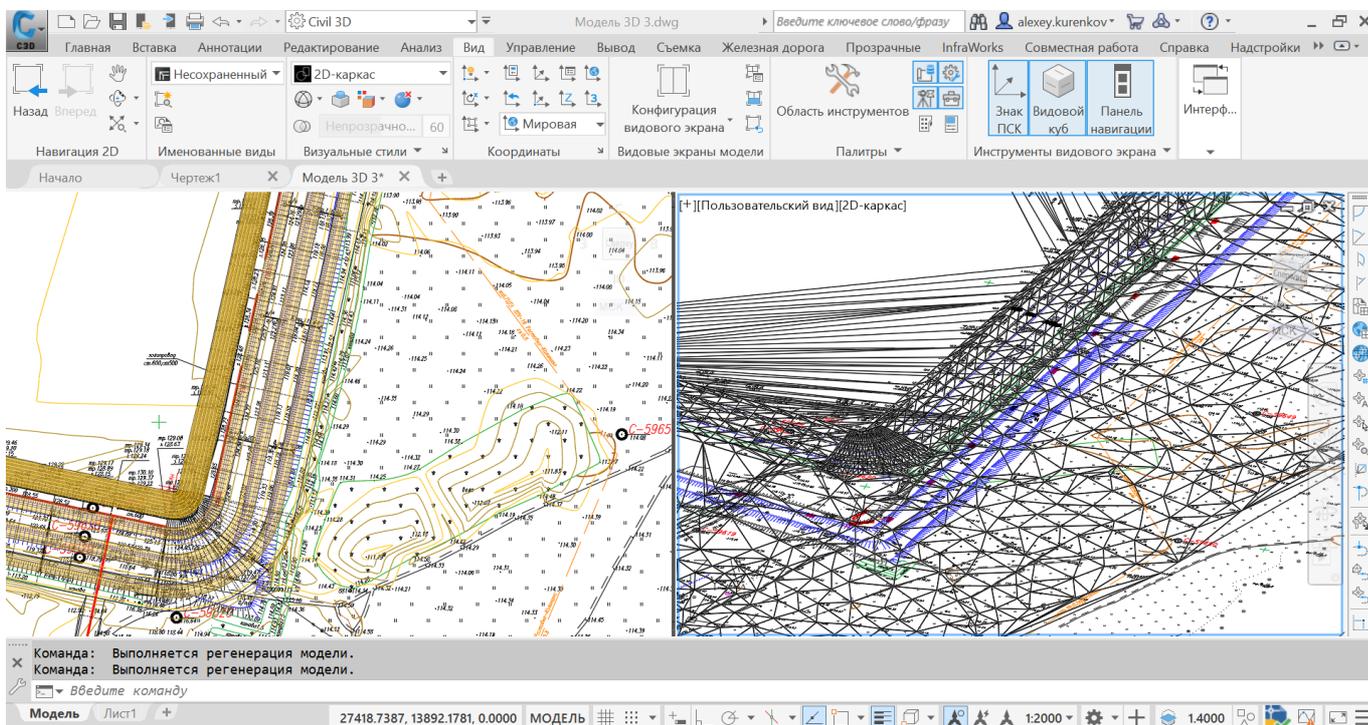


Рис. 3. Сформированная модель рельефа и дамбы шламохранилища

Следующий шаг – импорт подготовленной трехмерной модели геологического строения (формат XML из программы Carlson Geology) и совмещение ее с построенной поверхностью рельефа.

Методология работы в Civil 3D позволяет использовать различные варианты работы, так как программа является универсальным инструментом специалиста. Для реализации рассматриваемой задачи использовался инструмент создания коридоров, который позволяет, задав требуемую конструкцию сооружения, получить линейный объект. С учетом специфики решаемой задачи наиболее целесообразно использовать инструментальный модуль Autodesk Subassembly Composer (SAC), что позволяет создать конструкцию с учетом возможности регулирования всех необходимых параметров и адаптации конструкции под изменения условий.

Дальнейшая работа в Civil 3D заключается в построении трассы и проектного профиля по сооружению, с детализацией объемов работ и графическим отображением атрибутивной информации.

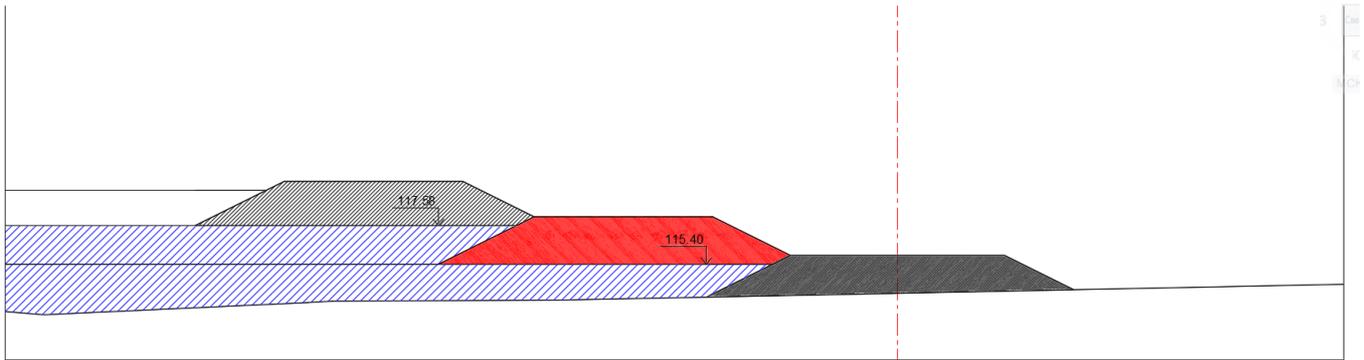


Рис. 4. Поперечный профиль проектируемого сооружения

Сформированная в Civil 3D трехмерная модель объекта, включающая рельеф, геологические слои и проектируемые сооружения, готова для передачи в геотехническую программу PLAXIS 3D (формат DXF). Таким образом использование технологий информационного моделирования (BIM) позволяет исключить большинство непреднамеренных ошибок при формировании расчетной модели.

Этап 3. Расчетное геотехническое обоснование проекта

Сформированная в Civil 3D трехмерная модель объекта, включающая рельеф, геологические слои, грунтовые сооружения, дамбы, шлам, дороги и площадки готова для передачи в геотехническую программу PLAXIS 3D (формат DXF). Применение программы обосновано СП 39.13330.2012 «Плотины из грунтовых материалов» [3], требующим выполнять фильтрационные расчеты (п. 9.5), оценку напряженно-деформированного состояния (приложение Ж) и расчеты устойчивости (приложение И) путем численного моделирования.

PLAXIS позволяет выполнять все основные виды геотехнических расчетов: оценку напряженно-деформированного состояния (НДС); оценку устойчивости; фильтрационные и теплотехнические расчеты, а также динамические расчеты для оценки влияния воздействий (естественных в виде сейсмограмм землетрясений) и техногенных (динамические воздействия от строительной техники или движущегося транспорта) [2,4].

Основные преимущества геотехнического комплекса PLAXIS по сравнению с аналитическими методами заключаются в следующем. Во-первых, используются комплексные геомеханические модели грунтов, позволяющие описывать сложное нелинейное поведение реальных грунтов при различных механических воздействиях. Во-вторых, МКЭ решает задачи на основе распределения напряжений, в том числе учитывая природное напряженное состояние, что существенно влияет на результат. В-третьих, расчеты производятся путем построения траекторий нагружения, что позволяет оценивать в одной схеме как второе предельное состояние (осадку, консолидацию, деформации), так и первое (устойчивость и несущая способность); в-четвертых, фильтрационная задача решается в стационарном и нестационарном режиме (в том числе с учетом влияния атмосферных осадков и колебаний уровня воды). Получаемая при таком многофакторном анализе оценка надежности сооружения обеспечивает проектировщика полным пониманием возможных негативных последствий и оценкой эффективности принимаемых решений или противодеформационных мероприятий.

В качестве примера на рисунках 5 и 6 показаны два основных результата, необходимых при выполнении расчетов дамбы: деформации (суммарные вертикальные и горизонтальные) и

область смещения, отображающая прогнозируемую поверхность скольжения. Для наглядности результаты представлены в сечении. Удобная система отображения результатов позволяет расчетчику оценивать различные значения величин давления и деформаций.

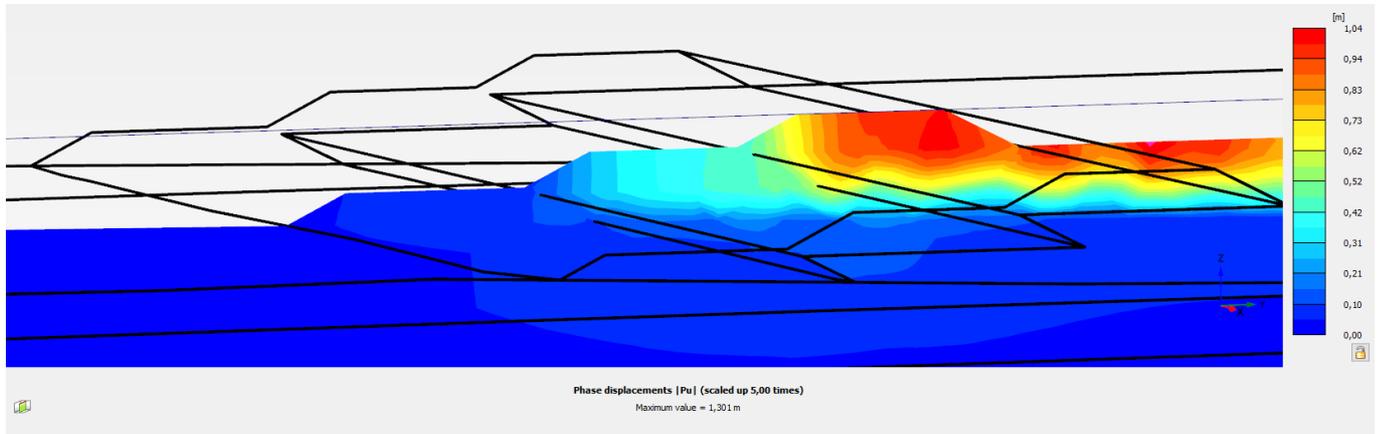


Рис. 5. Изополя деформаций в теле дамбы (сечение)

Оценка деформаций сооружения, в особенности на слабых грунтах, является важной, поскольку в процессе намыва отходов в хранилища осадки могут вызвать сквозные трещины в дамбах.

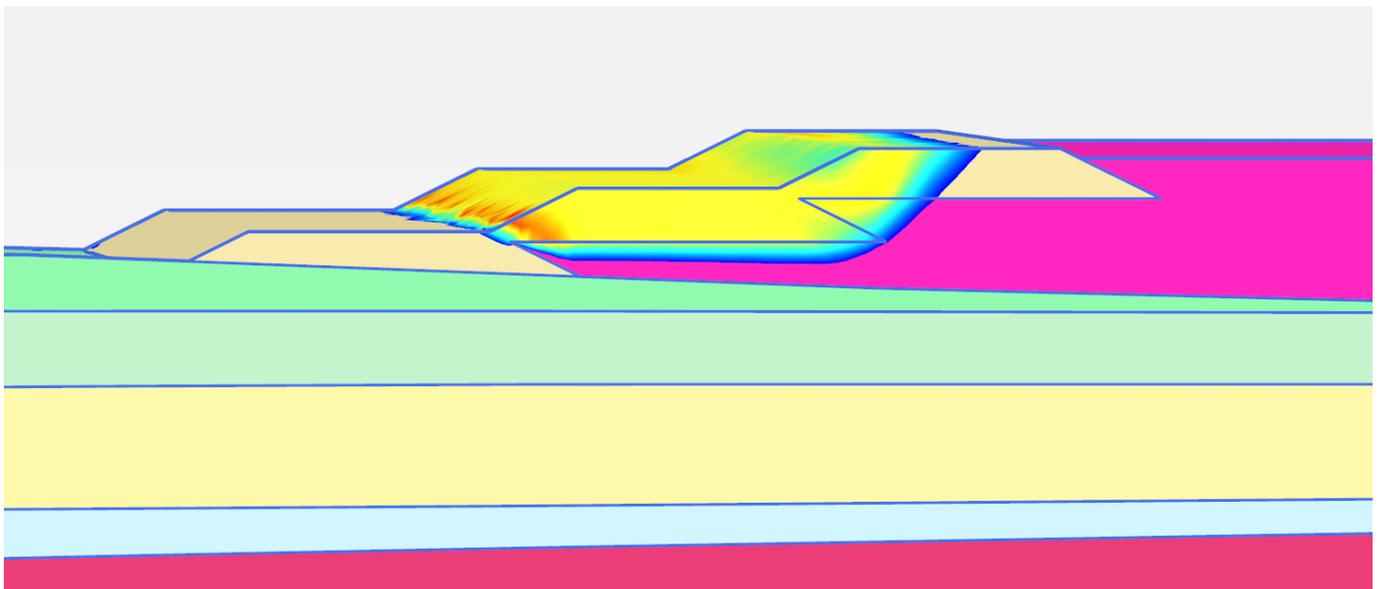


Рис. 6. Изополя смещений, иллюстрирующих потенциальную поверхность скольжения

По результатам геотехнических расчетов производится корректировка проектного положения сооружения, его геометрических размеров и дополнительных противодеформационных конструкций или мероприятий в Civil 3D с получением требуемых объемов работ, динамическая модель позволяет выполнять все задачи автоматически. На заключительном этапе производится подсчет вместимости шламохранилища для разных стадий его заполнения.

Заключение

В современных условиях работы проектных организаций проектирование таких сложных объектов как шламо- и хвостохранилища требует особого внимания. Неутешительная статистика разрушений свидетельствует о необходимости учета многих факторов при выполнении проектов. Рассмотренный подход, основанный на использовании профессионального программного обеспечения, позволяет качественно выполнять проектирование, назначать надежные проектные решения и выполнять работу в короткие сроки. Особенно актуально применение программного обеспечения при проектировании в условиях сложного рельефа (овражные, пойменные, косогорные хранилища) и необходимости учета трехмерного пространства.

Список литературы

1. По следам катастрофы в Бразилии. Чем чревато пренебрежение безопасностью хвостохранилищ // Интернет-журнал Геоинфо <https://www.geoinfo.ru/>
2. Рекомендации по проектированию и строительству шламонакопителей и хвостохранилищ металлургической промышленности // М.: Стройиздат 1986.
3. СП 39.13330.2012 «Плотины из грунтовых материалов»
4. Бугров, А.К., Зиновьева, Л.Г., Киселева, М.Л., Маслова, Д.С. Совершенствование расчетов хвостохранилищ для обоснования их конструкций в сложных инженерно-геологических условиях и на сейсмоопасных территориях / Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2014 (274):48-59