

Проектирование шламохранилищ

AutoCAD Civil 3D + PLAXIS + Carlson Geology

Разработка технологий проектирования типовых объектов – ключ к эффективному внедрению средств автоматизации

В наши дни уже вряд ли кто станет оспаривать необходимость использования современных информационных технологий в повседневной работе проектировщика: именно эти технологии позволяют резко сократить сроки выпуска проектов при одновременном повышении качества принимаемых решений. Тем не менее в реальной жизни, особенно на начальном этапе внедрения средств автоматизации, получить заметный эффект удастся не всегда. Причиной – не единственной, но, пожалуй, одной из главных – является отсутствие технологий проектирования типовых объектов с использованием новых программных средств. Обучение эту проблему обычно не решает, поскольку нацелено в первую очередь на знакомство с продуктом, а не на конкретные задачи предприятия.

В процессе разработки технологий проектирования типовых объектов создается набор решений, обеспечивающих реальный рост производительности при использовании новых программных инструментов. Немаловажно и другое: таким образом можно оформить и передать знания и практический опыт.

Именно разработка технологии помогает отладить порядок взаимодействия между различными группами, участвующими в выполнении проекта, а также организовать совместную работу, оптимизировав информационные потоки между смежными подразделениями, которые, с одной стороны, предоставляют исходные данные для проектирования, а с другой – являются потребителями произведенной проектной информации.

Кратко рассмотрим технологию проектирования такого типового объекта, как шламохранилище (специальное гидротехническое сооружение для складирования жидких отходов производства). Проектные работы включают в себя несколько этапов. Во-первых, по данным геологических изысканий проводится анализ геологического строения в месте сооружения шламохранилища, определяются границы залегания и объемы выемки слабых грунтов. Далее рассчитывается устойчивость предложенной конструкции сооружения, определяются допустимые значения коэффициентов заложения откосов ограждающей и пионерной дамб и, наконец, выполняется их проектирование. Очевидно, что столь разные задачи требуют использования различных программных средств. В нашем примере основу технологии составили профессиональные средства проектирования и геотехнических расчетов: AutoCAD Civil 3D, PLAXIS и Carlson Geology.

Достоверная и удобная для использования исходная информация – это сокращение сроков проектирования и высокое качество проектов

Вид и качество исходной информации определяют не только качество проекта, но и сроки его выполнения. К сожалению, между требованиями, которые предъявляют к данным инженеры-проектировщики, создающие 3D-модели объектов, и той реальной информацией, которую им передают изыскательские компании, очень часто существует разрыв. Топографическая карта зачастую не содержит данных, необходимых для создания трехмерной модели рельефа, и приходится отвлекаться на ввод допол-

нительной информации. Данные по геологическим выработкам передаются в виде рисунков, а значит чтобы использовать их для анализа и проектирования опять-таки приходится тратить время на ввод.

В процессе разработки технологии проектирования типового объекта наряду с решением собственно технологических вопросов формулируются требования к составу и виду исходных данных, которые должен получать инженер-проектировщик. Кстати, эти требования нельзя назвать ни жесткими, ни тем более невыполнимыми, поскольку рассматриваемые программные продукты AutoCAD Civil 3D и Carlson Geology способны обрабатывать различные виды 3D-данных...

Реальный скачок в повышении производительности труда происходит когда изыскательские и проектные компании или подразделения работают на одной платформе. Для проектирования объектов землеустройства идеальной платформой является AutoCAD Civil 3D. В этой системе данные съемки обрабатываются или импортируются из текстовых файлов, строится модель существующей поверхности. Полученные данные служат исходной информацией для проектирования, которое также выполняется в AutoCAD Civil 3D. Нет промежуточных преобразований и дополнительной подготовки, отнимающих время и связанных с риском появления ошибок.

В целом наиболее предпочтительными видами исходной информации для проектирования в AutoCAD Civil 3D являются:

- DWG-файлы или проекты Vault, содержащие модели поверхности – если изыскатели работают в AutoCAD Civil 3D;

- файлы формата LandXML, в которых передается информация о поверхностях, точках, трассах и профилях, — если изыскатели работают в системах, поддерживающих язык обмена проектными данными LandXML;
- проекты AutoCAD Land Desktop — если изыскатели работают в этой системе.

Такие данные, как 2D-полилинии с высотными отметками, 3D-границы или тем более файлы с точками, требуют дополнительных трудозатрат на подготовку информации к проектированию.

Для проектирования шламохранилища, как и многих других объектов землеустройства, исходные данные были представлены в виде топографического плана местности с нанесенной границей объекта и данных геологических изысканий в виде геологических колонок, разрезов по скважинам, физико-механических характеристик грунтов.

Проектирование шламохранилища — обработка данных геологических изысканий

При проектировании шламохранилища для обработки данных по геологическим выработкам использовалась программа Carlson Geology — профессиональное приложение к AutoCAD Civil 3D/AutoCAD Map/AutoCAD. С ее помощью были выполнены следующие работы:

Ввод и анализ данных геологических изысканий

В Carlson Geology информацию по выработкам можно вводить следующими способами:

- ввод одиночной скважины;
- ввод в электронной таблице;
- ввод из заранее подготовленного файла.

Первыми двумя способами удобно пользоваться, когда надо ввести информацию о небольшом количестве скважин.

Ввод из заранее подготовленных файлов предпочтителен для первичного ввода большой группы данных. В Carlson Geology информацию по геологическим выработкам можно вводить из текстовых файлов практически любых форматов, а также из MDB- и XLS-файлов.

Для проектирования шламохранилища исходные данные по грунтам были переданы в виде файлов DWG с рисунками геологических колонок. Подобный вариант нельзя считать представлением в электронном виде, годном для использования в компьютерных технологиях проектирования, поэтому пришлось создать MDB-файл и вручную ввести данные с рисунков. На этом этапе были сформулированы тре-

бования к изыскательским компаниям, регламентирующие вид передаваемой информации.

Заметим, что Carlson Geology включает удобные команды для проверки введенной информации и внесения изменений.

Построение цифровых моделей грунтов

По данным геологических колонок строятся цифровые модели грунтов, которые в Carlson Geology представляют собой сетки. Набор сеток почвы грунтов — это геологическая модель участка строительства, которая используется при построении геологических разрезов и подсчете объемов грунтов.

Построение разрезов

Carlson Geology позволяет строить геологический разрез по любой полилинии, причем для построения разреза можно использовать не только ранее определенный набор сеток грунтов, но и просто скважины в рисунке. Как правило, геологи скептически относятся к возможности создания по скважинам адекватной модели грунтов и построение разрезов по любой полилинии. В данном случае автоматически построенные разрезы сравнивались с разрезами, построенными геологами вручную, и они практически совпали.

Основной результат работы программы на этом этапе — построение разрезов по заданным осевым линиям ограждающей и пионерной дамб.

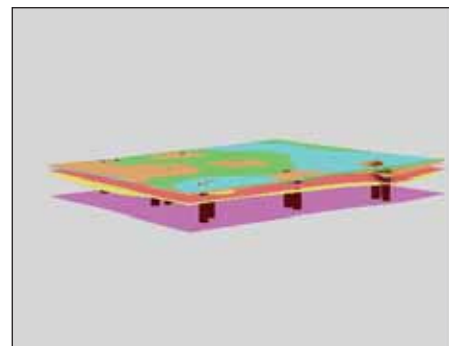


Рис. 1. Пространственная модель грунтов

Определение границ залегания и подсчет объемов слабых грунтов

При проектировании шламохранилища требовалось определить границы залегания и объемы торфа и других слабых грунтов. В Carlson Geology эта задача решается путем анализа данных по скважинам с помощью фильтров, определяющих наличие грунта в скважине. Анализ по фильтрам позволяет определить не только границы залегания грунтов, но и границы распространения грунта с определенными качественными характеристиками.

Для вычисления объемов используются данные по скважинам или ранее созданные наборы сеток. В Carlson Geology имеются две команды подсчета объемов, использующие разные методы вычисления. Чтобы убедиться в правильности столь важных результатов, как объемы работ, полезно сравнить результаты вычисления, полученные обоими способами.

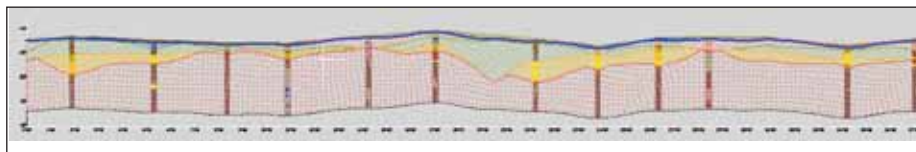


Рис. 2. Разрез по осевой линии ограждающей дамбы

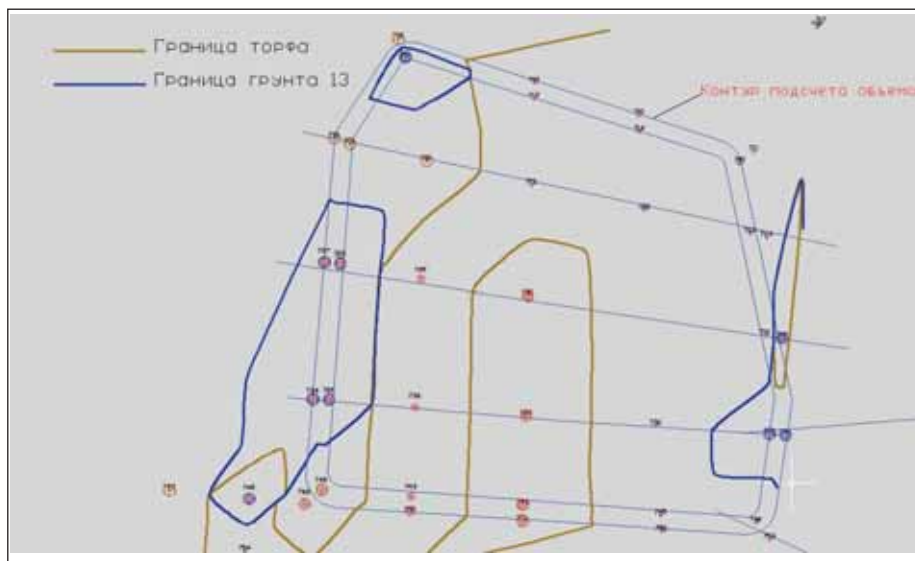


Рис. 3. Границы залегания слабых грунтов



Рис. 4. Границы выхода грунтов на дно хранилища

Определение грунтов, выходящих на дно шламохранилища

Эта задача решалась уже после проектирования шламохранилища, когда была получена цифровая модель поверхности дна. В Carlson Geology для построения границ выхода грунтов на дно сооружения нужно выполнить всего одну команду. Результат представлен на рис. 4.

Использование специального приложения для обработки данных геологических изысканий позволяет построить пространственные модели грунтов, провести анализ геологической ситуации, построить любые разрезы, определить границы залегания различных грунтов и их объемы. Carlson Geology является профессиональным приложением к AutoCAD, обеспечивающим решение такого рода задач. Обмен проектной информацией между Carlson Geology и AutoCAD Civil 3D осуществляется через файл DWG или файл LandXML, в котором можно сохранить построенные поверхности грунтов.

Проектирование шламохранилища – геотехнические расчеты

Для выполнения геотехнических расчетов конструкции шламохранилища использовалась программа PLAXIS 2D, которая позволяет моделировать поведение грунтов и взаимодействие между конструкциями и грунтами. Средствами этой программы были рассчитаны напряженно-деформированное состояние системы "шламохранилище – грунтовое основание", устойчивость откосов и поток фильтрации сквозь тело пионерной дамбы. В геометрическую модель объекта (рис. 5), которая использовалась для расчета, были включены неоднородные грунтовые массивы, инженерные конструкции (гидроизоляция), этапы строительства, а также нагрузки от транспорта.

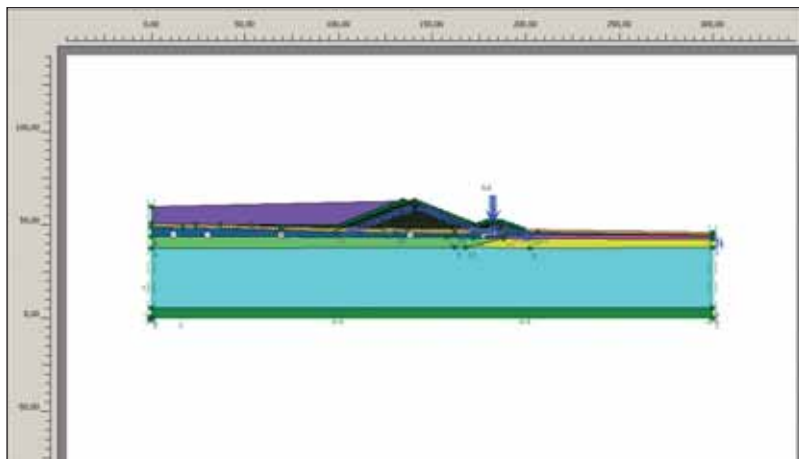


Рис. 5. Геометрическая модель проекта

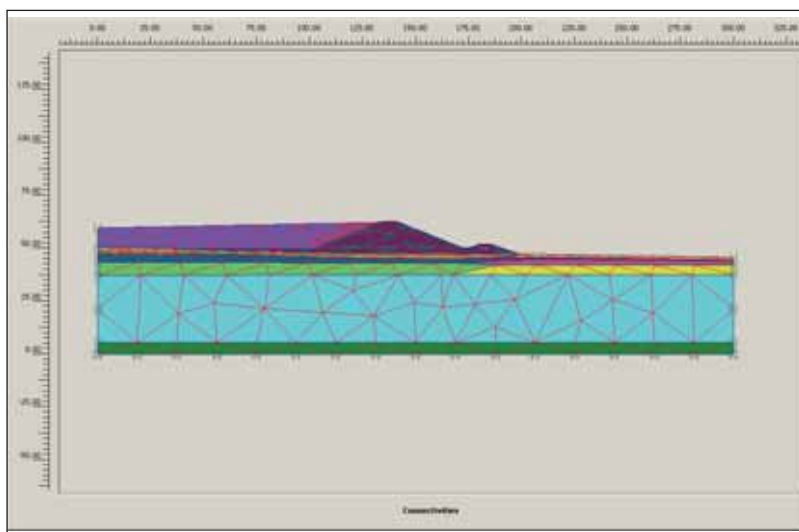


Рис. 6. Сетка конечных элементов (КЭ)

Отличительной особенностью проекта была сложная система гидроизоляции. От ее моделирования и выбора граничных фильтрационных условий зависела работа дренажной канавы и, в свою очередь, общая устойчивость низового откоса пионерной дамбы. Неправильное задание граничных условий могло привести к некорректным результатам расчетов.

В рассматриваемом проекте для моделирования поведения грунтов использовалась модель Мора-Кулона (модель идеальной пластичности), содержащая параметры, получаемые при стандартных испытаниях образцов грунта, такие как параметры упругости, пластичности, угол дилатансии.

Для созданной геометрической модели была построена двумерная конечно-элементная сетка. Программа позволяет автоматически создавать нерегулярные конечно-элементные сетки с возможностью глобального и локального измельчения. При построении сетки учитываются расположение слоев, нагрузок и конструкций. В основе метода построения лежит устойчивый принцип триангуляции, с помощью которого находятся оп-

тимальные размеры треугольников, участвующих в построении неструктурированной сетки (рис. 6).

Строительство пионерной дамбы рассматривалось в проекте как сложный процесс послойного возведения тела сооружения, состоящий из нескольких стадий: укладка геомембраны на проектной отметке, отсыпка защитного слоя щебня вдоль дренажной канавы, посев трав на низовом откосе, постепенное заполнение шламом самого хранилища.

В программе PLAXIS 2D эти процессы могут быть смоделированы с помощью специальной опции расчета поэтапного строительства, которая позволяет активировать или деактивировать вес, жесткость и прочность выбранных компонентов конечно-элементной модели, строительные нагрузки, контактные элементы и т.п.

После расчета были определены напряжения и перемещения в грунте. Графический вывод деформированного состояния расчетной области доступен в виде деформированной сетки (рис. 7), полных перемещений, приращений перемещений, полных деформаций и при-

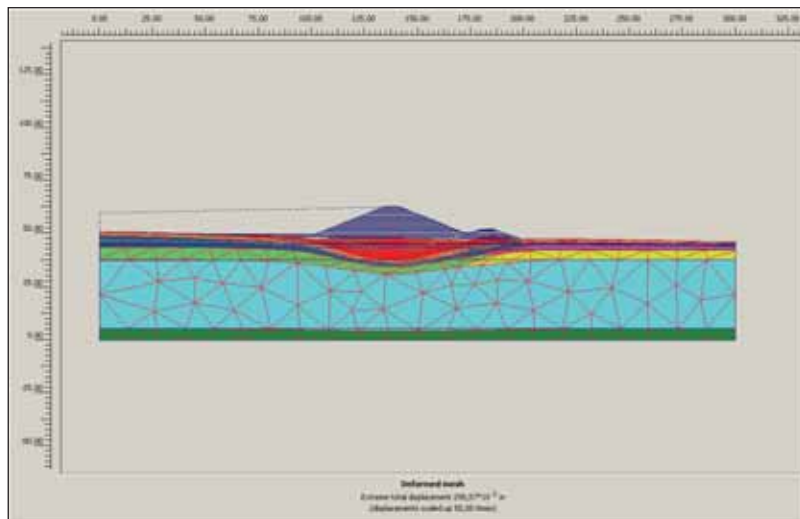


Рис. 7. Деформированная сетка КЭ

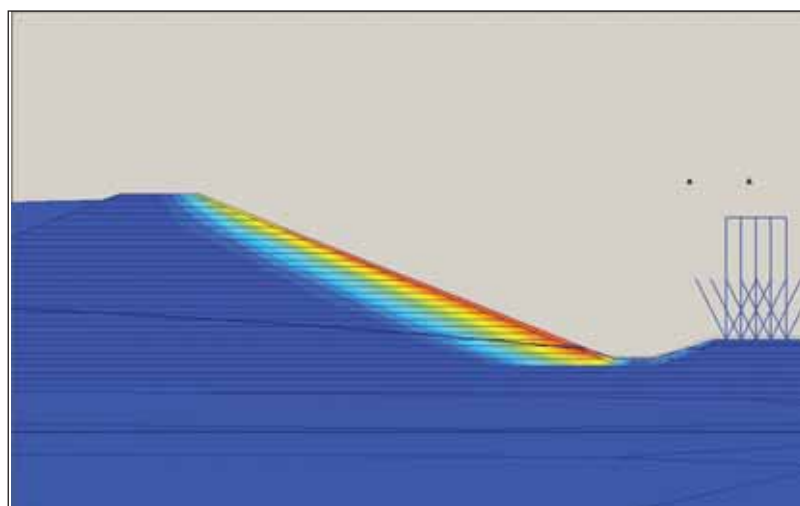


Рис. 8. Поверхности потенциального обрушения откоса дамбы шламохранилища

рашений деформаций. Все перемещения и деформации могут быть визуализированы с помощью векторов, линий и затененных областей равных значений. Графический вывод напряженно-деформированного состояния расчетной области доступен в виде эффективных напряжений, полных напряжений, декартовых компонент напряжений, полных поровых давлений и избыточных поровых давлений. Напряжения могут быть визуализированы с помощью затененных областей равных значений.

Для расчета коэффициента общей безопасности в программе PLAXIS 2D используется метод Φ - c -reduction (снижение ϕ и c), весьма популярный среди пользователей программы. В рассматриваемом проекте коэффициент надежности представляет собой отношение реального сопротивления грунта сдвигу к минимальному сопротивлению сдвигу, обеспечивающему предельное равновесие (рис. 8).

Благодаря возможностям опций *Сечения* и *Анимация* показ результатов можно сделать более наглядным и красоч-

ным. Опция *Сечения* позволяет создавать эпюры распределения всех типов напряжений и перемещений в любом сечении геометрической модели. Анимация может быть создана для всех графических результатов расчета, в том числе деформаций и усилий в элементах конструкций. Доступна опция построения кривых зависимости перемещений от нагрузки, траекторий напряжений и деформаций, диаграмм "напряжение — деформация", кривых зависимости осадки от времени.

Итак, программа PLAXIS предлагает, во-первых, простую процедуру ввода графических данных, которая обеспечивает быстрое создание сложных конечно-элементных моделей. Во-вторых, предоставляет усовершенствованные средства вывода данных с подробным представлением результатов вычислений. Процесс расчета полностью автоматизирован и основан на устойчивом численном методе.

Использование PLAXIS 2D для геотехнических расчетов позволяет построить двумерные модели грунтового осно-

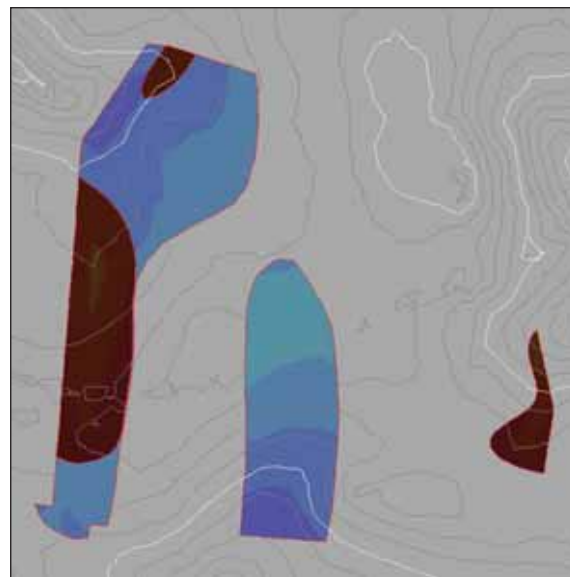


Рис. 9. Слабые грунты

вания и сооружения, выполнить расчет напряженно-деформированного состояния с учетом фильтрации грунтовых вод, а также расчет общей устойчивости сооружения. PLAXIS 2D является конечно-элементной программой для решения задач такого рода, и ее применение при проектировании шламохранилища позволяет повысить прежде всего качество и надежность принимаемых проектных решений.

Проектирование шламохранилища — оградящая и пионерная дамбы

Основной этап проектирования шламохранилища, а именно проектирование оградящей и пионерной дамб, выполнялся средствами программы AutoCAD Civil 3D.

Исходные данные для проектирования представляли собой цифровую модель существующей поверхности, построенную по точкам геодезических изысканий, а также рассчитанную в PLAXIS конструкцию поперечного сечения. Границы и объемы вынимаемых грунтов были определены в программе Carlson Geology.

Для укладки гидроизоляционной пленки было решено создавать хранилище из двух коридоров. Первым коридором являлась оградящая дорога с канавой и полосой планировки, вторым — пионерная дамба на полосе планировки.

Создание любого линейного объекта начинается с прокладки трассы — осевой. С использованием всего нескольких инструментов из множества команд для создания трасс была спроектирована ось дороги (рис. 10) и построен продольный профиль дороги (рис. 11).

Далее требовалось создать конструкцию поперечного сечения дамбы. Геометрия дамбы была рассчитана в про-



Рис. 10. Трасса дороги

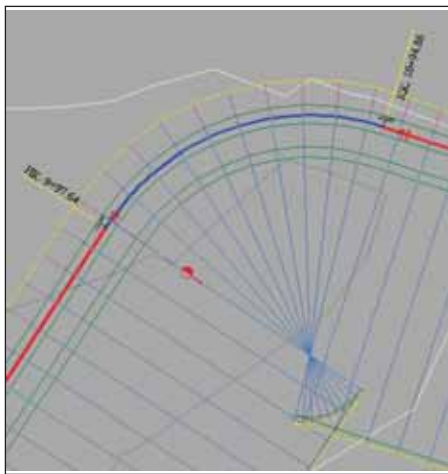


Рис. 13. Коридор ограждающей дамбы до изменения радиусов кривых

граммном комплексе PLAXIS, так что в AutoCAD Civil 3D понадобилось только воспроизвести конструкцию с уже известными размерами. Проезжая часть дороги, канава и полоса планировки были созданы из звеньев. Дно канавы должно иметь определенный профиль, поэтому для создания ее внешнего откоса использовался специальный элемент, высота которого (при постоянном уклоне) определяется профилем. Внешний и внутренний откосы конструкции заданы простым откосом (рис. 12).

Когда созданы трасса, проектный продольный профиль и конструкция поперечного сечения, можно приступать к созданию коридора, на что, благодаря гибкой и интуитивно понятной системе создания линейных объектов в AutoCAD Civil 3D, ушло не более пары минут. Сразу же по завершении моделирования коридора обнаружилась ошибка — для заданной границы шламохранилища радиусы кривых были слишком малы, чтобы корректно создать полосу планировки (рис. 13). Радиусы кривых были исправлены, добавлены переходные кривые для сглаживания перехода, а коридор перестроен с учетом новых параметров (рис. 14).

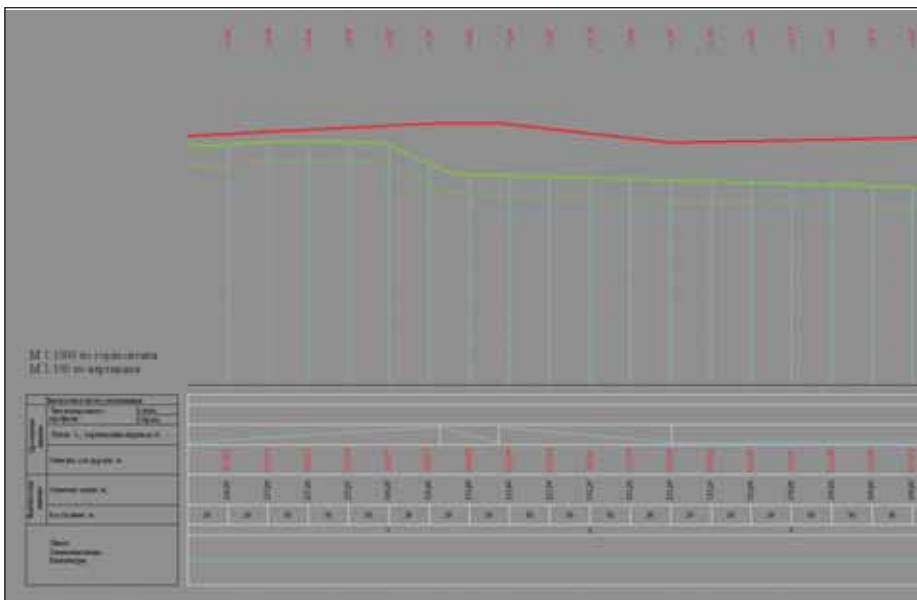


Рис. 11. Продольный профиль дороги

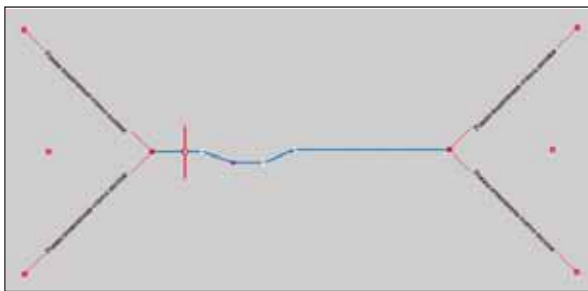
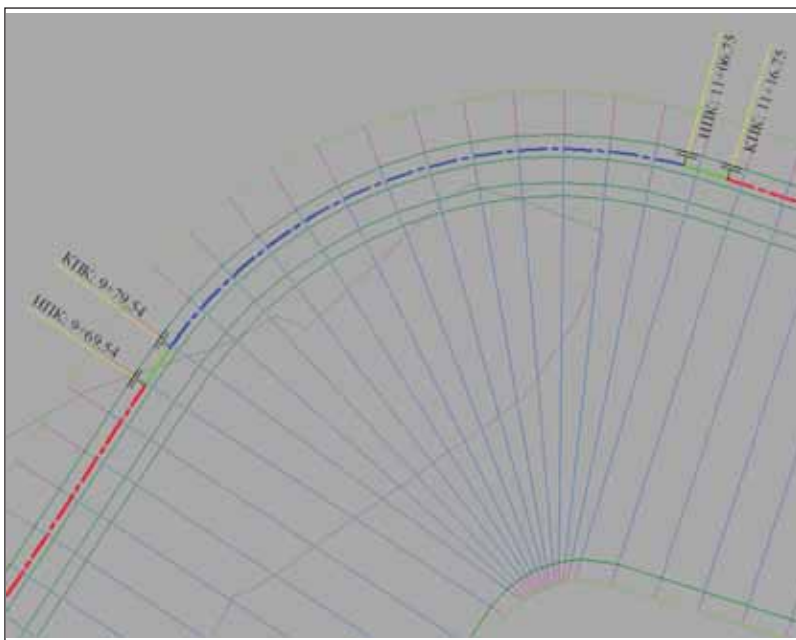


Рис. 12. Конструкция обьездной дамбы



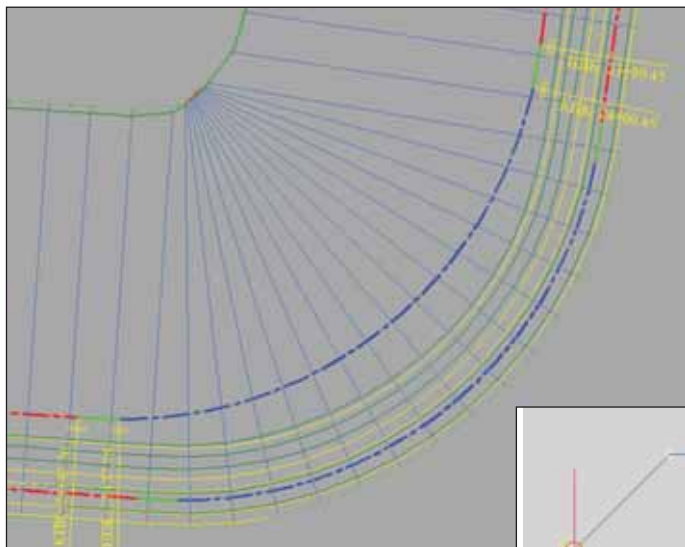


Рис. 15. Трасса пионерной дамбы

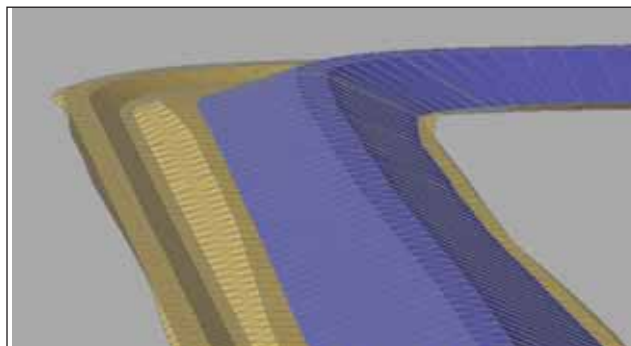


Рис. 17. Шламохранилище

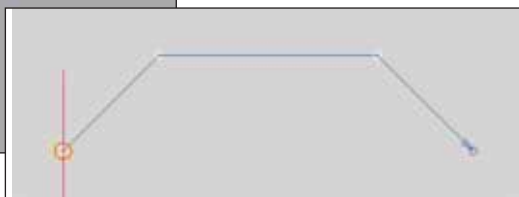


Рис. 16. Конструкция пионерной дамбы

являлся профиль поверхности ограждающей дамбы.

Конструкция пионерной дамбы довольно проста — гребень с постоянной отметкой и два откоса до поверхности полосы планировки (рис. 16).

Для создания гребня пионерной дамбы с постоянной отметкой был применен элемент с постоянной отметкой конечной точки.

В результате сформировалась конструкция шламохранилища, состоящая из двух коридоров (рис. 17).

Для определения объемов работ по сооружению обездной и пионерной дамб задействовалась функция подсчета объемов между поверхностями.

После вычисления объемов возникла необходимость изменить продольный профиль дна канавы. Благодаря динамической трехмерной модели AutoCAD Civil 3D перестройка всего проекта почти полностью выполнялась в автоматическом режиме.

Вслед за изменением продольного профиля канавы был автоматически перестроен коридор ограждающей дамбы и обновлена поверхность. Единствен-

ным изменением, которое требовалось внести вручную, оказалась корректировка трассы пионерной дамбы. После изменения трассы программа самостоятельно перестроила коридор и обновила поверхность пионерной дамбы.

Вторым этапом разработки технологии проектирования стал подсчет вместимости хранилища при разной высоте пионерной дамбы.

Средствами AutoCAD Civil 3D была создана поверхность по внутренней части шламохранилища (рис. 18). Для разных высот пионерной дамбы подсчитана вместимость хранилища и построен график интенсивности его заполнения (рис. 19).

При разработке проектов подобного типа использование AutoCAD Civil 3D обеспечивает многократный рост производительности. Сравните сами: в организациях, занятых проектированием шламо-, шлако- и хвостохранилищ, на разработку одного проекта уходит несколько месяцев, а весь процесс проектирования в AutoCAD Civil 3D (без учета согласований) занял лишь несколько дней. Причем благодаря динамической

модели не требуется перерабатывать весь проект при изменении исходных данных — взаимосвязанные объекты обновляются автоматически.

В этой статье рассмотрены этапы проектирования шламохранилища с использованием программ Carlson Geology, PLAXIS, AutoCAD Civil 3D, положенных в основу типовой технологии проектирования. По результатам разработана подробная инструкция, в которой, с одной стороны, отражен опыт проектировщиков, а с другой — представлены приемы использования современных технологий проектирования, позволяющих значительно повысить производительность труда при одновременном совершенствовании качества принимаемых решений.

**Андрей Веселов,
Ольга Лиферова,
Алексей Терно
"НИИ-Информатика"
(Санкт-Петербург)
Тел.: (812) 375-7671
E-mail: info@nipinfor.spb.su**

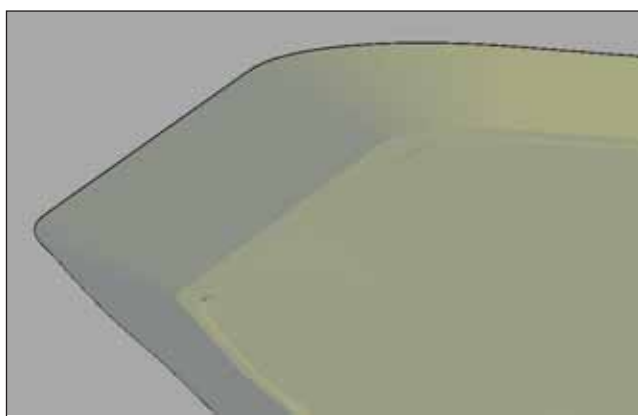


Рис. 18. Поверхность для определения вместимости хранилища

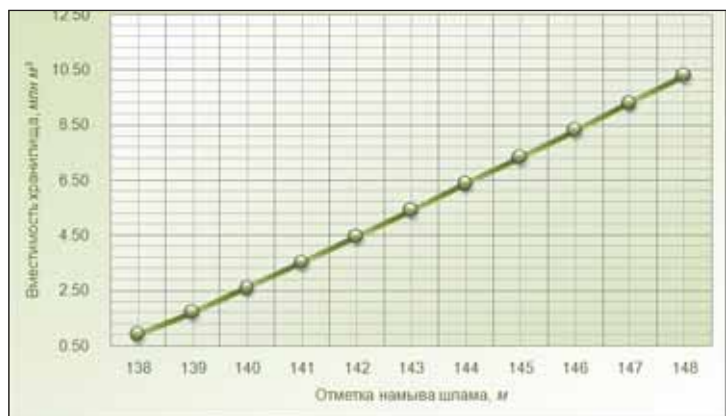


Рис. 19. Зависимость вместимости хранилища от высоты дамбы