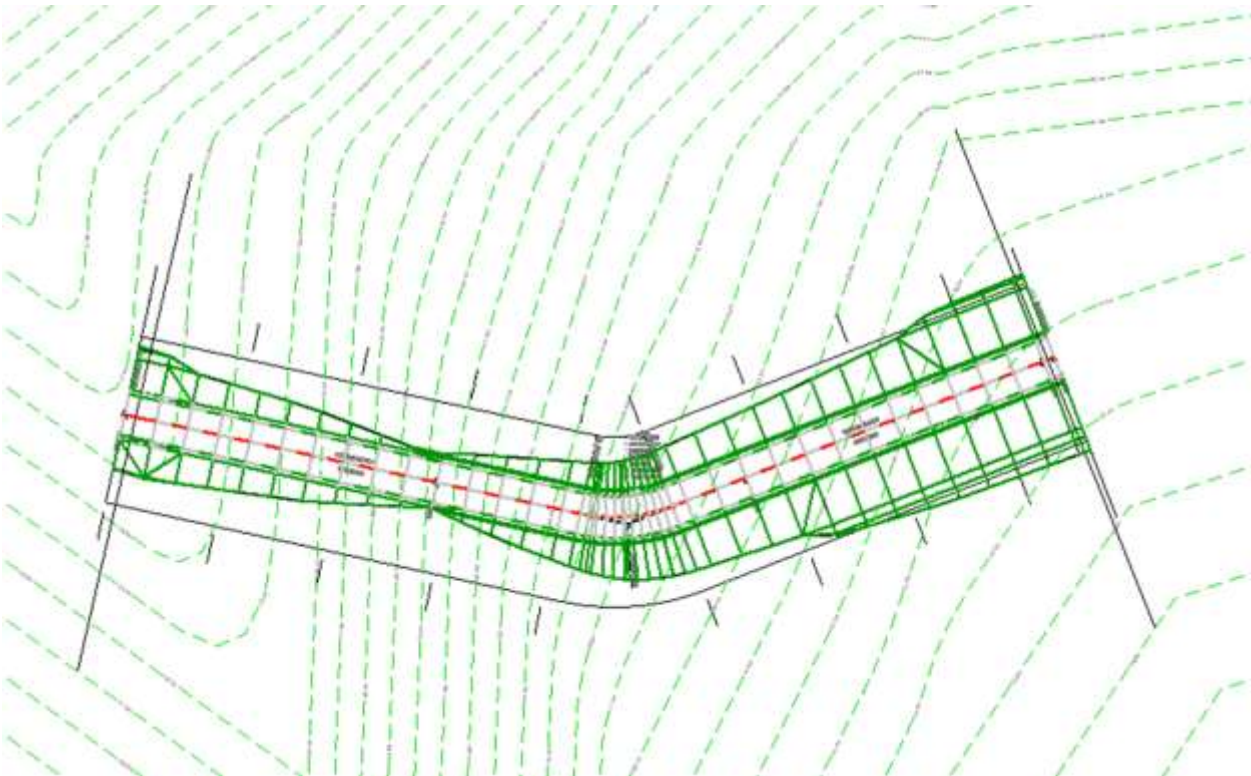


Возможности gINT Professional, OpenRoads Designer и PLAXIS 2D при проектировании транспортных сооружений



Одна из наиболее актуальных проблем при проектировании сооружений связана с недостаточной оптимизацией процесса передачи информации между специалистами смежных отделов. Например, геотехник получает от изыскателей информацию о геологическом строении площадки в неудобном формате, который требует дальнейшей обработки. Это приводит к потерям времени и излишним затратам труда.

Автор статьи на примере геотехнических расчетов при проектировании линейных транспортных сооружений рассказывает о повышении эффективности работы при совместном использовании взаимодействующих программных комплексов.

Белибов Семён Борисович

Инженер-геолог ООО «НИИ-Информатика», г. Санкт-Петербург

Сейчас на рынке есть много программных комплексов, которые решают задачи, возникающие на всех стадиях проектирования сооружения. Эти программы чаще всего используют общепринятые форматы исходных и выдаваемых данных. При этом данные, как правило, требуют дополнительной обработки при передаче между программами. Инженер-геотехник при задании грунтового основания работает с большим объемом информации в виде таблиц, разрезов, карт фактического материала и др. Он отбирает необходимые данные для построения модели и фактически повторяет работу инженера-геолога, затрачивая много времени и сил. Намного удобнее было бы напрямую использовать данные по геологии и получать модель с сооружением и с геологическим строением основания одновременно.

Для наглядности рассмотрим линейные транспортные сооружения. Важным этапом при их строительстве является создание насыпей и выемок, при проектировании которых возникают задачи расчета устойчивости откосов, осадок, консолидации. При проведении таких расчетов

необходимо учитывать как грунтовое основание, так и сооружение. Эти и другие геотехнические задачи решаются с помощью специализированных программных комплексов, например PLAXIS 2D.

Для задания грунтового основания необходимо определить положение кровли и подошвы каждого слоя. Для этого в расчетных комплексах есть инструменты для построения геометрии с нуля или с помощью импорта готовой геометрии из сторонних программ. Проектирование сооружений осуществляется в специальных программах, например, OpenRoads Designer для дорог.

Создание совместной модели сооружения и геологического строения осуществляется в расчетных комплексах. Если нужно провести расчеты по множеству сечений, то это потребует много времени и труда. Более эффективно было бы создать модель сооружения и грунтового основания в программе для проектирования, а затем передать необходимые расчетные сечения в расчетную программу для вычисления требуемых параметров.

Это можно сделать с помощью трех программных комплексов из линейки Bentley Systems (американской компании Bentley Systems Inc., представленной более чем в 50 странах и являющейся мировым лидером в области поставок комплексных программных решений для поддержки инфраструктуры):

- задание геологии выполняется в gINT Professional,
- проектирование трассы – в OpenRoads Designer,
- геотехнические расчеты – в PLAXIS 2D.

Возможности указанных программ охватывают процесс проектирования транспортных сооружений от изысканий до принятия конечных проектных решений. Рассмотрим эти возможности немного подробнее с использованием примеров рассчитанных проектов.

gINT Professional — это программа для хранения, обработки и экспорта данных инженерно-геологических изысканий. Информация представляет собой набор таблиц, куда заносятся сведения о скважинах (рис. 1), полевых и лабораторных испытаниях, в том числе необходимые плановые координаты и абсолютные отметки скважин, глубины границ слоев и др. Программа может выдавать графические отчеты в виде колонок и таблиц. Эти данные можно передавать в другие программы.

Скважина	Общая глубина (m)	Абсолютная отметка устья (m)	Север (m)	Восток (m)
AA01	10	20	0	0
AA02	10	9	200	0
AA03	10	-6	400	0
AA04	10	16	0	100
AA05	10	15	200	100
AA06	10	-1	400	100
AA07	10	28	0	200
AA08	10	23	200	200
AA09	10	11	400	200
AA10	10	33	0	300
AA11	10	29	200	300
AA12	10	10	400	300
AA13	10	36	0	400
AA14	10	30	200	400
AA15	10	15	400	400

Рис. 1. Пример таблицы данных по скважинам в gINT Professional

Рассмотрим пример проектирования автомобильной дороги в **OpenRoads Designer**, с начальной стадии проектирования. Например, уже проведены геодезические изыскания, а поверхность рельефа смоделирована и загружена в OpenRoads Designer. Затем была смоделирована трасса автодороги (рис. 2), задан ее продольный профиль и некоторый типовой шаблон поперечного профиля. Также были определены два характерных сечения, по которым необходимо провести геотехнические расчеты.

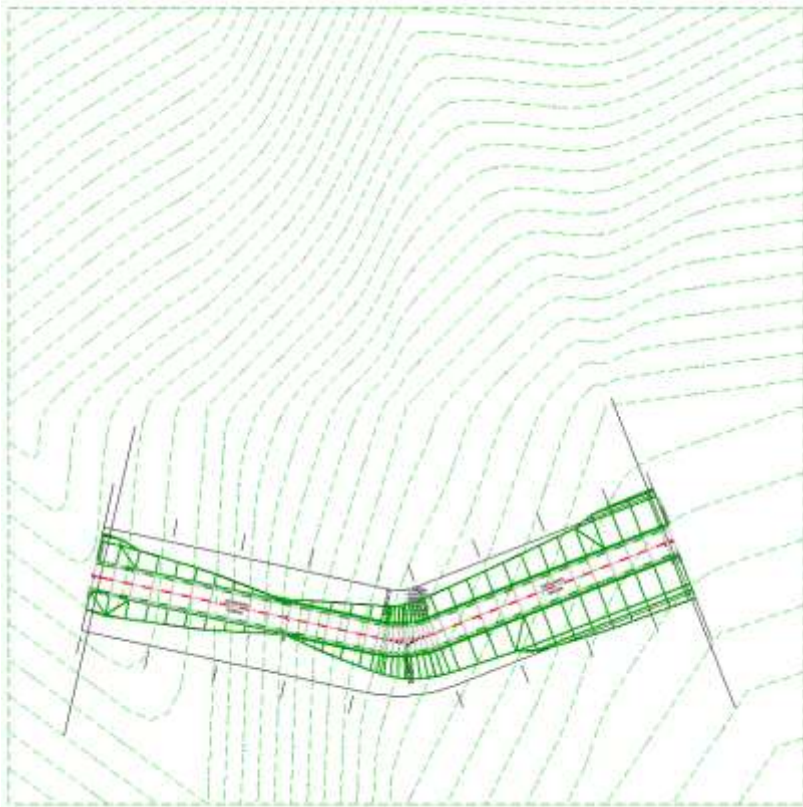


Рис. 2. Пример модели трассы в плане в OpenRoads Designer

Для расчетов надо создать такой разрез, на котором была бы и автодорожная насыпь (или выемка), и грунтовое основание. OpenRoads Designer предназначен для проектирования линейных сооружений и, кроме того, позволяет подключить базу данных из программы для изысканий gINT Professional или из базы данных Excel и создать трехмерную модель геологического строения участка.

Необходимо зайти в геотехнический модуль и подключить проект из gINT Professional, в котором есть таблицы с данными. Надо выбрать сопоставление с той таблицей, в которую занесены плановые координаты и абсолютные отметки устья скважин.

Также можно добавить новое сопоставление с таблицей, в которой содержится информация о глубинах кровли и подошвы слоев, а также столбец с идентификатором грунтов.

После подключения базы из нее можно запросить сопоставленные данные, которые отобразятся в модели.

После добавления данных по скважинам появится возможность создания трехмерной сетки для каждого слоя.

Построенная таким образом трехмерная модель состоит из модели автодороги и геологического строения исследуемого участка.

Для создания поперечных сечений нужно выполнить еще одно подготовительное действие – создать в OpenRoads Designer трехмерные тела выемки/насыпи между существующим рельефом и верхней поверхностью коридора.

После этого можно создать поперечное сечение для импорта в PLAXIS 2D. Сечение можно открыть в отдельном окне, рассмотреть и отредактировать. Аналогично создаются сечения на других участках трассы (рис. 3).

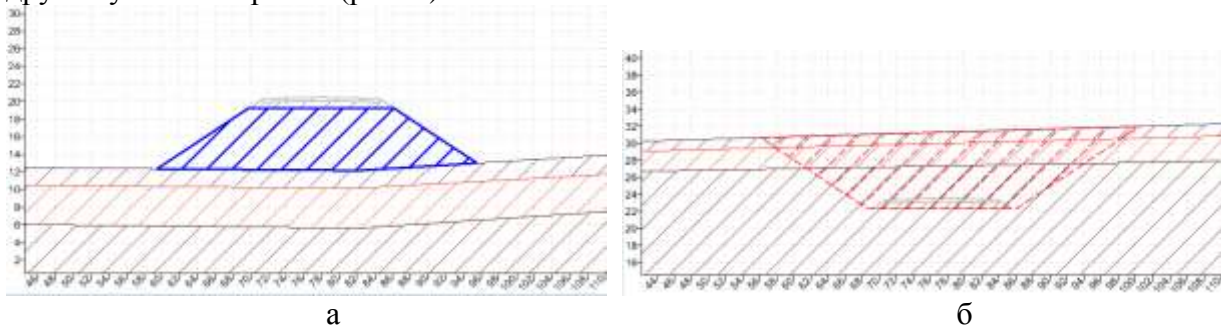


Рис. 3. Примеры сечений дорожной насыпи (а) и выемки (б) и их оснований, созданных в OpenRoads Designer

Проект можно экспортировать в формате DXF. Все созданные модели сохраняются в отдельных файлах и доступны для импорта в другие программы, в том числе в PLAXIS 2D.

В **PLAXIS 2D** есть несколько режимов работы:

- в режиме **Soil** можно замоделировать грунтовое основание по геологическим колонкам,
- в режиме **Structures** можно создать элементы конструкций, задать нагрузки, перемещения, интерфейсы, границы, а также импортировать геометрию из сторонних программ.

Рассмотрим пример **геотехнических расчетов для выемки**. При импорте поперечного сечения в режиме Structures появляются полигоны, которые определяют слои грунта и выемку (рис. 4).

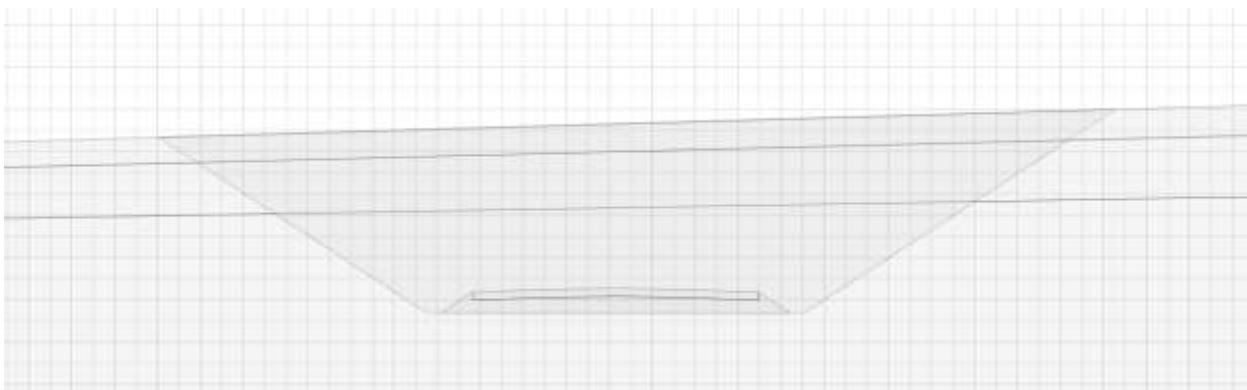


Рис. 4. Импорт поперечного сечения дорожной выемки с грунтовым основанием в PLAXIS 2D в режиме Structures

Чтобы закончить создание геологической модели, необходимо назначить материалы слоев грунта. В PLAXIS 2D есть пятнадцать встроенных моделей, и доступно создание пользовательских. Можно создать новые или использовать ранее созданные материалы и назначить их каждому слою.

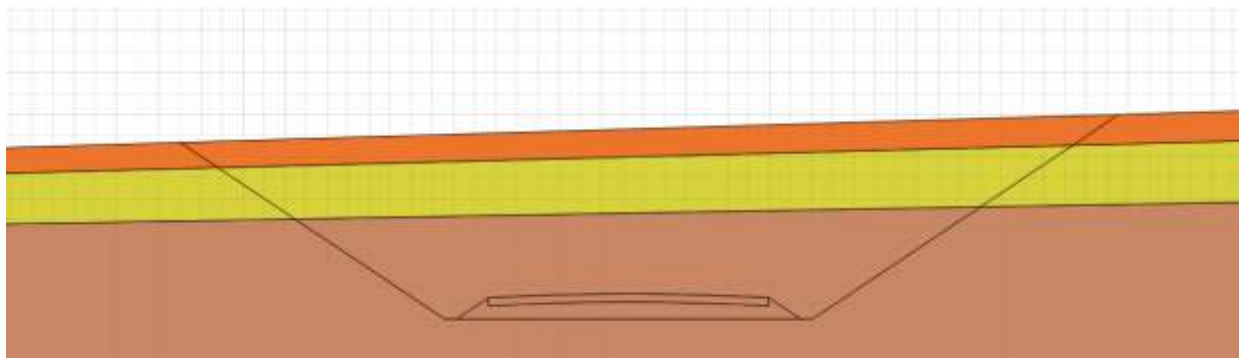


Рис. 5. Назначенные материалы в каждом слое на поперечном сечении дорожной выемки и грунтового основания в PLAXIS 2D

Перед переходом к расчетам необходимо создать сетку конечных элементов в режиме **Mesh**.

После создания сетки переходим в режим **Staged construction** («Поэтапное строительство»), в котором производятся геотехнические расчеты с помощью задания фаз строительства сооружения.

Для примера рассмотрим расчет в три этапа:

- расчет исходного напряженного состояния,
- проходка выемки,
- расчет коэффициента устойчивости откосов.

Если расчет фазы с выемкой грунта не прошел, надо открыть результаты фазы для просмотра. Если при просмотре боковых перемещений видно, что на откосе выемки образуется поверхность скольжения возможного сплыва (рис. 6), надо подумать о повышении устойчивости этого откоса.

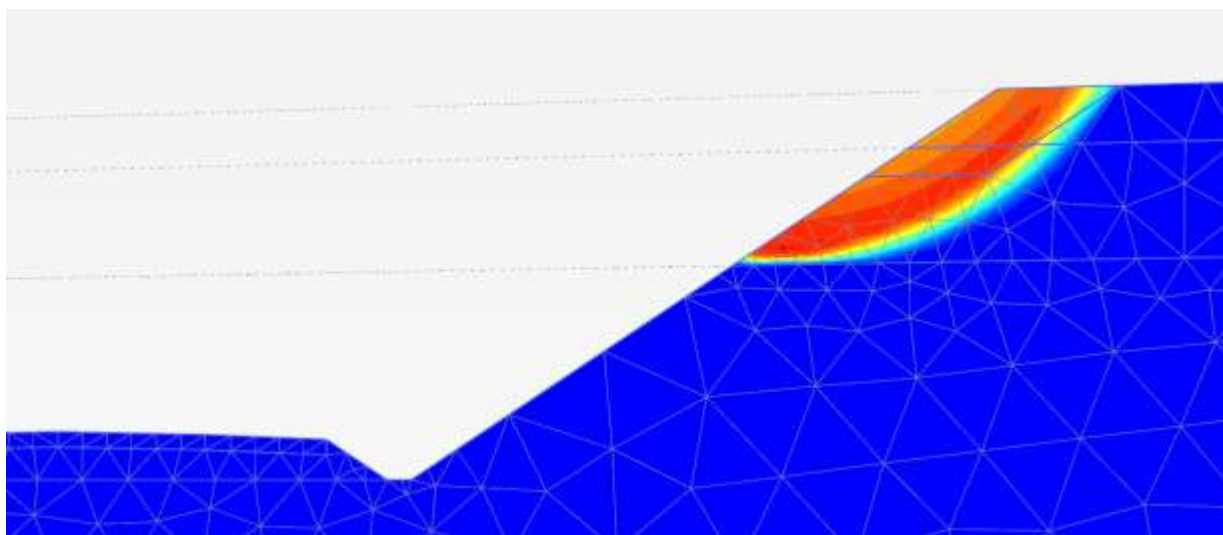


Рис. 6. Пример образования поверхности скольжения сплыва

Для повышения устойчивости откосов выемки используют разные методы. Рассмотрим вариант с изменением ее геометрии. В OpenRoads Designer можно изменить шаблон коридора таким образом, чтобы создать уступы (полки) на необходимой высоте или изменить уклон откосов.

Разрезы с измененной геометрией надо импортировать в PLAXIS 2D в режиме **Structures**, пересоздать сетку конечных элементов и задать новые фазы расчета с другими параметрами выемки:

- с уклоном 1:2 без уступов;
- с уклоном 1:1,5 с уступом на высоте 5 м;
- с уклоном 1:1,5 с уступом на высоте 7,5 м (рис. 7).

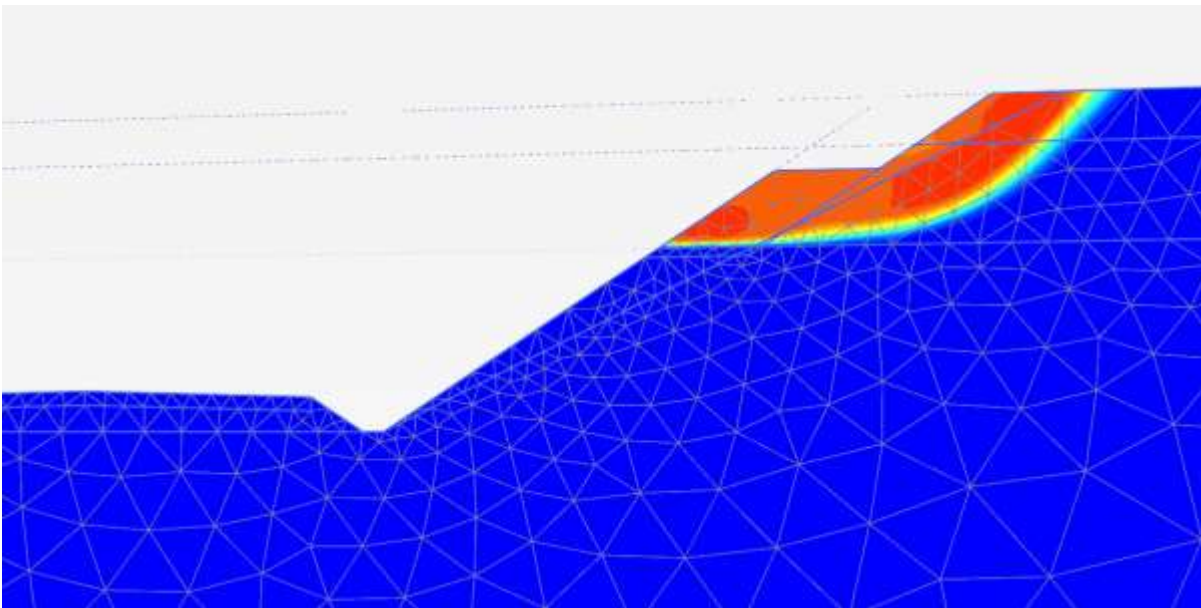


Рис. 7. Примеры вариантов геометрии выемки для конечноэлементных расчетов устойчивости откоса

При просмотре трех новых результатов расчета может оказаться так, что успешно пройдут только два. Выемка с уступом на высоте 5 м разрушается, так как уступ находится ниже поверхности скольжения и никак не улучшает устойчивость склона. Выемка с уклоном откоса 1:2 не разрушается, но рассчитанный коэффициент устойчивости составляет всего 1,017. Это значение близко к состоянию предельного равновесия, значит, требуемая устойчивость откоса не обеспечена. Выемка с уклоном откоса 1:1,5 и уступом на высоте 7,5 м удовлетворяет требованиям, что дает достаточный коэффициент устойчивости 1,2.

Таким образом, не всегда бóльший объем работ приводит к лучшим результатам. Изменение геометрии выемки должно опираться на расчеты. В нашем примере наибольшая устойчивость откоса выемки достигается тогда, когда уступ сооружается на высоте между двумя верхними слоями, то есть там, где находится поверхность скольжения. Определив положение последней в PLAXIS 2D, можно создать в OpenRoads Designer шаблон коридора с привязкой уступа к такой поверхности (поскольку ее высота непостоянна и меняется в разных сечениях).

В геотехнических расчетах насыпи наибольший интерес, помимо устойчивости, представляют расчеты консолидации и осадки насыпи от собственного веса и от эксплуатационной нагрузки.

Эти задачи можно решить с помощью PLAXIS 2D. Для этого импортируем сечения, созданные в OpenRoads Designer, и назначаем материалы слоев грунта (рис. 8).

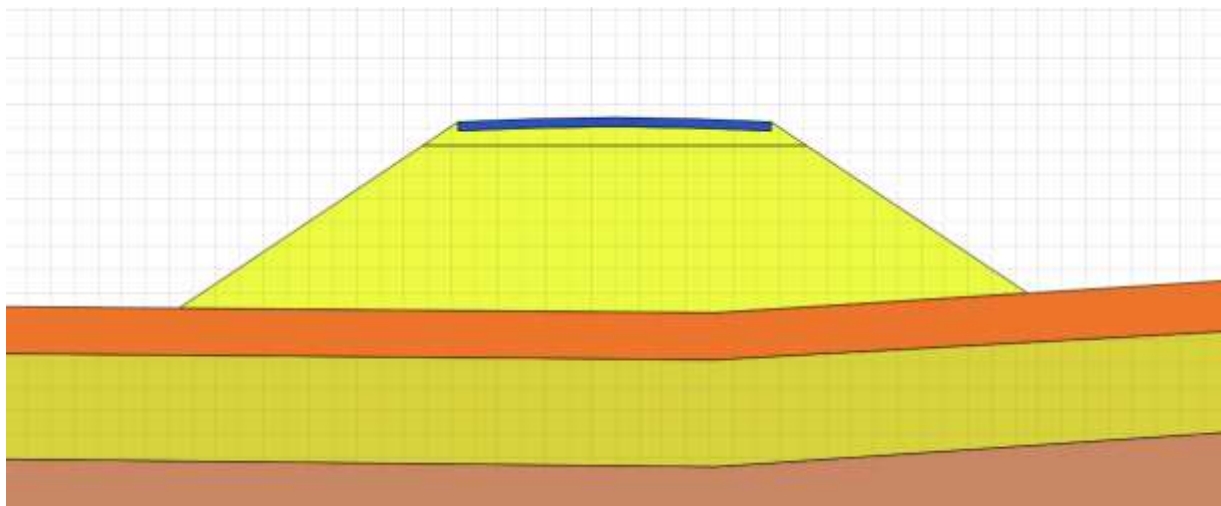


Рис. 8. Импорт поперечного сечения дорожной насыпи и грунтового основания в программу PLAXIS 2D и назначение материалов каждому слою

Затем задается эксплуатационная нагрузка в режиме **Structures**, создается сетка и устанавливаются гидрогеологические параметры модели.

Расчет будет проведен в 3 этапа:

1. Отсыпка насыпи (время отсыпки 30 дней);
2. Рассеивание избыточного порового давления после завершения строительства до 10% от максимального значения;
3. Приложение эксплуатационной нагрузки 15 кН/м^2 .

После отсыпки насыпи в основании возникает поровое давление (рис. 9). В основном оно сосредоточено на контакте слабой и твердой водонепроницаемой глины. На следующем этапе поровое давление рассеивается, что занимает 47 дней (рис. 10). Если приложить эксплуатационную нагрузку, произойдет осадка 6 см (рис. 11). Следовательно, примерно на эту величину надо увеличить насыпь, чтобы компенсировать последующую осадку. Это можно сделать в OpenRoads Designer.

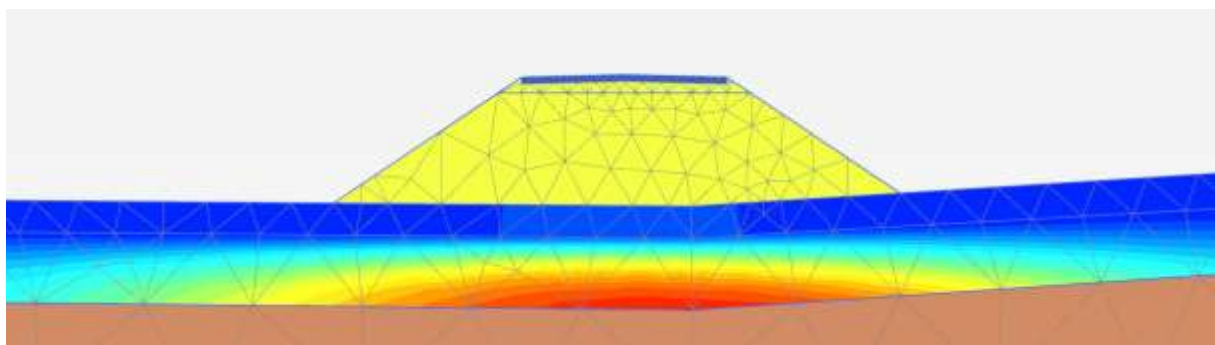


Рис. 9. После отсыпки насыпи в основании возникает поровое давление, которое сосредоточено в основном на контакте слабой глины и твердой непроницаемой глины

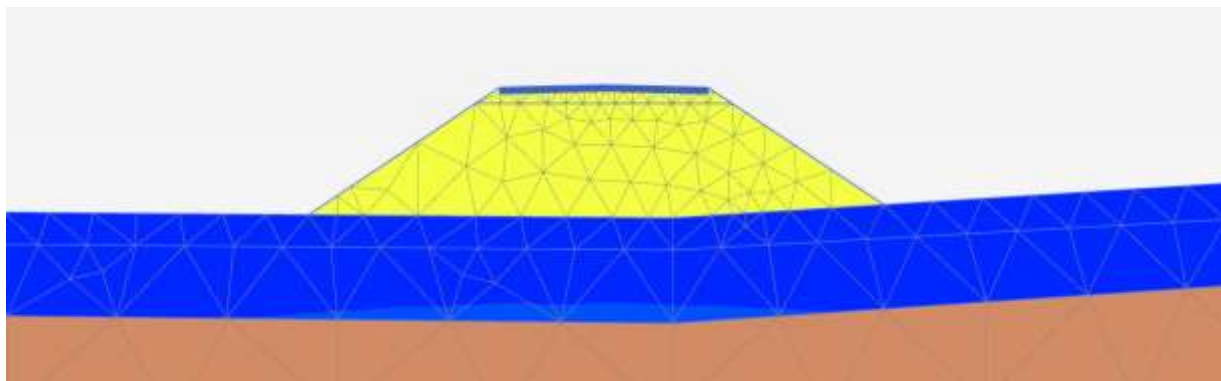


Рис. 10. Поровое давление рассеивается

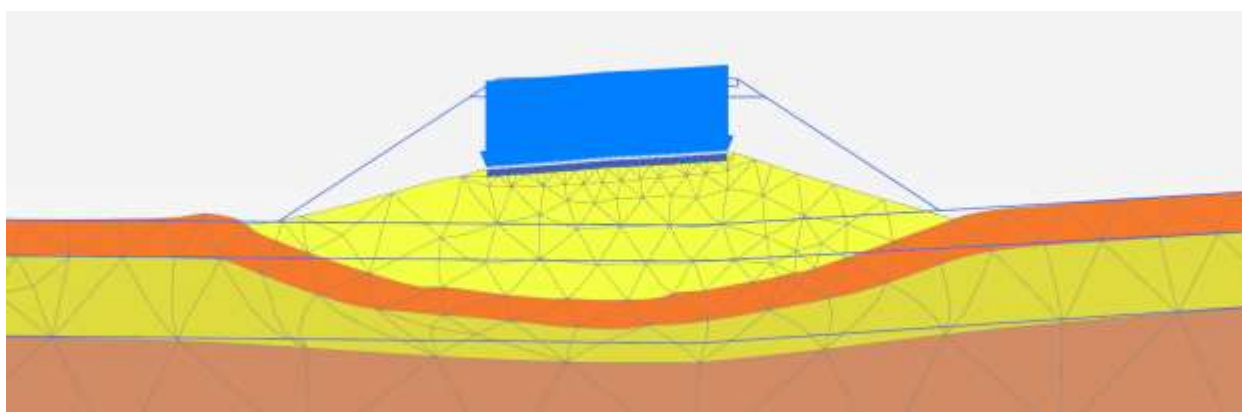


Рис. 11. После приложения эксплуатационной нагрузки возникает осадка

После определения оптимально устойчивого сечения выемки/насыпи и создания соответствующего шаблона коридора в OpenRoads Designer можно рассчитать объемы выемки/насыпи и перейти к экономическим показателям.

В статье рассмотрена одна из проблем современной геотехники: проблема эффективной передачи данных между программными комплексами, которые используются в процессе проектирования. На примере решения геотехнических задач в транспортном строительстве показано, что с помощью совместного использования программных комплексов gINT, OpenRoads и PLAXIS 2D можно оптимизировать затраты труда и времени, а также повысить точность выполнения геотехнических расчетов.