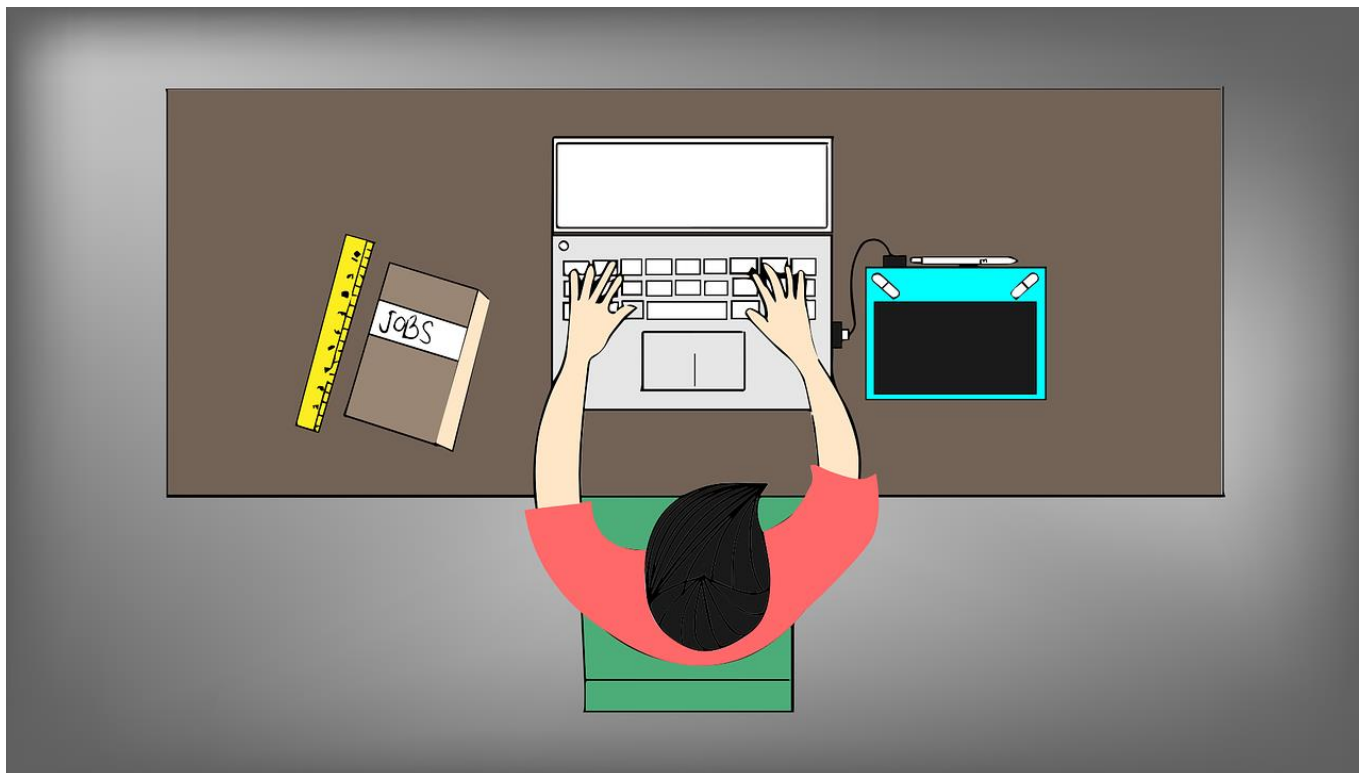


Определение параметров модели Hardening Soil в программном комплексе EngGeo



Несмотря на то, что в рамках действующих СП возможно выполнение расчетов только с применением модели Мора-Кулона, это не помешало многим проектировщикам оценить преимущества многопараметрических механических моделей, одной из которых является модель упрочняющегося грунта **Hardening Soil**. Возможность учета нелинейности деформирования при сдвиге и объемном сжатии, нефиксированная поверхность текучести – все это делает модель универсальной и позволяет существенно уточнить результаты расчета осадок и усилий в конструкциях (и, как следствие, оптимизировать проектные решения). Разработчиками программного комплекса EngGeo при участии старшего научного сотрудника МГУ им. М.В. Ломоносова Анатолия Мирного был подготовлен специальный модуль для обработки результатов испытания и определения параметров модели упрочняющегося грунта. Модуль разработан в качестве инструмента для проведения вычислений, необходимых для определения параметров нелинейных моделей грунтов, использующих гиперболический и степенной закон деформирования. Подробнее – в настоящей статье.

Аналитическая служба

Строительство традиционно является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей. Инновационные материалы и технологии, новые методы проектирования – все это позволяет снизить материалоемкость и сроки возведения объектов без снижения надежности и эксплуатационной пригодности. К сожалению, нормативно-технические

документы зачастую не успевают за темпами развития: широко используемые методы и технологии не получают нормативного обоснования в течение нескольких лет.

Эта ситуация уже более десяти лет наблюдается в области применения численных методов расчета в геотехническом строительстве. С середины 2000-х такие программные комплексы, как PLAXIS, Z-Soil, Midas GTS (а Ansys, Abaqus, Flac даже еще раньше) применяются для оценки напряженно-деформированного состояния оснований сооружений. Но нормативное обоснование для таких методов до сих пор не разработано – в профильных сводах Правил (СП) упоминается лишь необходимость проведения численного расчета без конкретных рекомендаций. В частности, отсутствуют и нормативные методы определения параметров механических моделей, используемых в данных комплексах. Фактически, в рамках действующих СП возможно выполнение расчетов только с применением модели Мора-Кулона.

Тем не менее, сложившаяся ситуация не помешала многим проектировщикам оценить преимущества многопараметрических механических моделей, одной из которых является модель упрочняющегося грунта Hardening Soil. Возможность учета нелинейности деформирования при сдвиге и объемном сжатии, нефиксированная поверхность текучести – все это делает модель универсальной и позволяет существенно уточнить результаты расчета осадок и усилий в конструкциях (и, как следствие, оптимизировать проектные решения). Своеобразной платой за это становится необходимость определения большого количества параметров, большая часть из которых незнакома отечественным специалистам. На протяжении последних 8 лет лишь единичные изыскательские организации в стране предлагали услугу по определению данных параметров – зачастую по завышенным ценам и с требованием проведения отдельных испытаний.

Повысить доступность данных методов для широкого круга изыскательских организаций возможно – для этого требуется обосновать методику определения параметров нормативными документами, а также предложить удобный инструмент для обработки результатов испытаний. И если первая задача ложится на плечи разработчиков актуализированных редакций нормативных документов, то вторую вполне по силам решить представителям отрасли.

Разработчиками программного комплекса EngGeo при участии старшего научного сотрудника МГУ им. М.В. Ломоносова Анатолия Мирного был подготовлен специальный модуль для обработки результатов испытания и определения параметров модели упрочняющегося грунта.

Модуль разработан в качестве инструмента для проведения вычислений, необходимых для определения параметров нелинейных моделей грунтов, использующих гиперболический и степенной закон деформирования. В частности, к группе этих моделей относятся модель Duncan-Chang, Hardening Soil, в некоторых программных комплексах Modified Mohr-Coulomb. Используемые при обработке зависимости и методики основаны на сведениях научно-технической литературы и в настоящее время не регламентированы нормативными техническими документами (за исключением параметров переуплотнения). В связи с этим их применение носит добровольный характер, а в случае использования в качестве исходных данных для проектирования объектов капитального строительства требует дополнительного нормативного обоснования, например, стандартом предприятия.

Модуль позволяет определить следующие параметры:

- секущий модуль деформации при опорном давлении E_{50}^{ref} ;
- секущие модули деформации при прочих давлениях E_{50} ;
- одеметрический модуль деформации при опорном давлении E_{oed}^{ref} ;

- одометрические модули деформации при прочих давлениях E_{oed} ;
- степенной показатель зависимости жесткости от напряжений m (по результатам как компрессионных, так и трехосных испытаний);
- модуль деформации разгрузки при опорном давлении E_{ur}^{ref} ;
- коэффициент Пуассона при разгрузке ν_{ur} ;
- угол дилатансии ψ ;
- историческое давление (давление предуплотнения) σ_p ;
- давление переуплотнения POP;
- коэффициент переуплотнения OCR.

Данный модуль полностью интегрирован в комплекс EngGeo и работает с результатами стандартных испытаний трехосного и компрессионного сжатия, уже загруженных в базу данных. Это обстоятельство значительно упрощает работу с модулем для сотрудников лабораторий.

Обработку можно выполнять для результатов испытаний, выполненных на одной пробе. Для успешной работы модуля для одной пробы требуется не менее двух результатов трехосных испытаний в режиме КД, выполненных при различных давлениях в камере. Все результаты трехосных испытаний должны быть корректно обработаны в модуле «3-осное сжатие»: учтены все поправки в соответствии с ГОСТ 12248, выбрана точка окончания холостого хода в камерах типа А на вкладке «Холостой ход» (данная вкладка появилась в EngGeo недавно и позволяет исправить частую погрешность, возникающую при изотропной консолидации). Работа модуля максимально алгоритмизирована – в случае, если в качестве входных данных используются испытания высокого качества, от пользователя не требуется вмешательства в его работу.

Новый модуль состоит из четырех вкладок.

Вкладка «Исходные данные»

Исходные данные | Параметры по компрессионному сжатию | Параметры по трехосному сжатию | Сводная таблица

Параметры сопротивления сдвигу

Угол внутреннего трения, °: 3-осное

Удельное сцепление, МПа: вручную

Опорное давление, МПа: вручную

Коэффициент бокового давления: вручную

Бытовое давление, МПа: вручную

Давление предуплотнения, МПа: вручную

Параметры сопротивления сдвигу, угол внутреннего трения и удельное сцепление по умолчанию заполняются автоматически в соответствии со значениями, полученными для данной пробы в модуле «3-осное сжатие». В случае если по испытаниям трехосного сжатия параметры не определялись, могут быть использованы параметры по испытаниям одноплоскостного среза. Если для данного ИГЭ (РГЭ) уже выполнялась статистическая обработка и расчетные значения параметров прочности определены, рекомендуется использовать их путем ручного ввода.

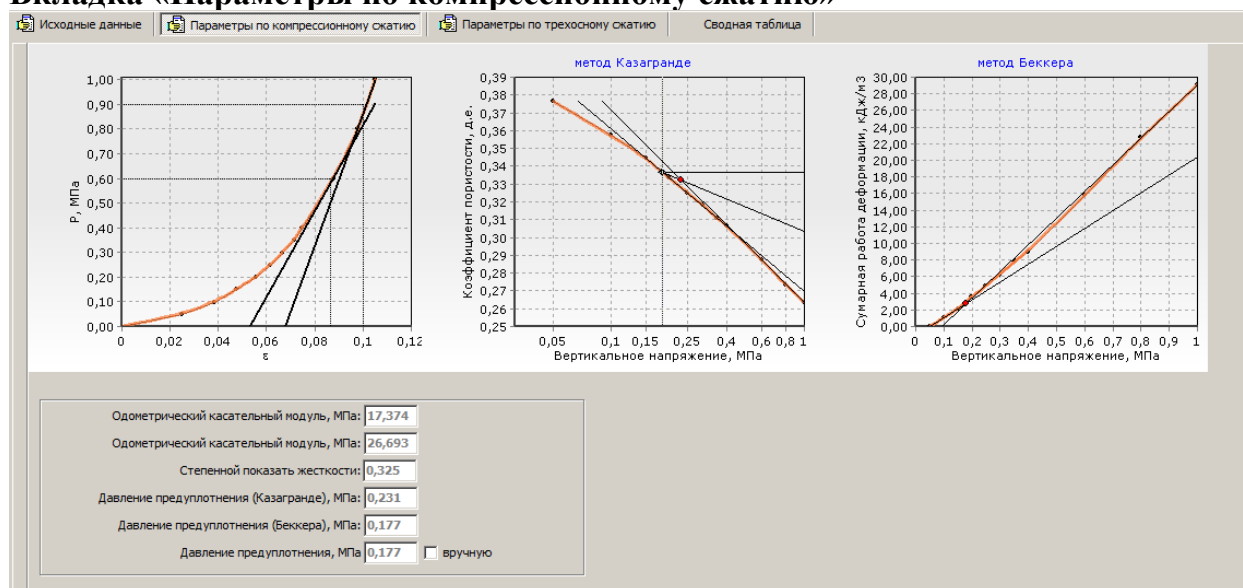
Опорное давление по умолчанию принимается равным минимальному давлению в камере из всех загруженных трехосных испытаний для данной пробы. При необходимости величина параметра может вводиться вручную.

Коэффициент бокового давления по умолчанию определяется по формуле Жаку $K_0 = 1 - \sin\phi$ на основании указанного значения угла внутреннего трения. При необходимости величина параметра может вводиться вручную.

Бытовое давление вводится пользователем вручную – оно необходимо для расчета параметров переуплотнения POP и OCR.

Давление предуплотнения по умолчанию определяется по результатам обработки на вкладке «Параметры по компрессионному сжатию». В случае если определение выполнялось отдельным опытом, его величина может быть введена вручную.

Вкладка «Параметры по компрессионному сжатию»

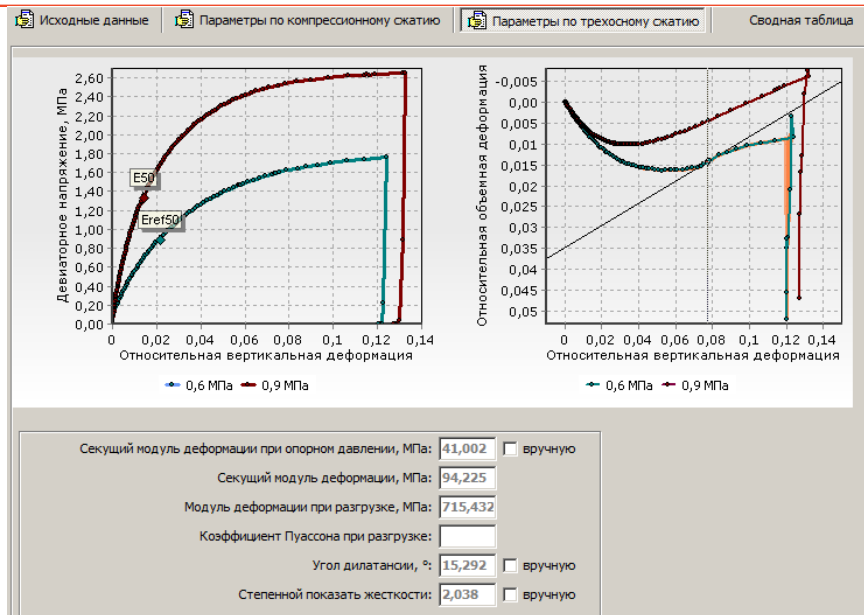


На вкладке приводятся результаты компрессионных испытаний, загруженных для данной пробы. Одометрический касательный модуль при опорном давлении по умолчанию определяется автоматически по наклону касательной в точке, соответствующей величине опорного давления. Второе значение одометрического модуля определяется в точке, соответствующей максимальному давлению в камере из всех загруженных результатов трехосных испытаний. При отсутствии трехосных испытаний (если для данной пробы они не проводились) значения давлений могут быть введены вручную.

Расчет степенного показателя жесткости выполняется автоматически на основании двух полученных значений одометрического модуля, а также параметров сопротивления сдвигу. Изменение параметра вручную не допускается.

Модуль также позволяет определить параметры переуплотнения по ГОСТ 58326-2018. Для этого необходимо, чтобы диапазон напряжений в испытаниях компрессионного сжатия соответствовал требованиям ГОСТ, то есть достигал величины 8 Мпа. От пользователя требуется только указать точку максимальной кривизны зависимости для метода Казагранде, графическая обработка результатов выполняется автоматически, что значительно сокращает трудозатраты.

Вкладка «Параметры по трехосному сжатию»



На данной вкладке приводятся результаты испытаний трехосного сжатия: зависимости относительных вертикальных деформаций от девиатора напряжений и относительных объемных деформаций от относительных вертикальных напряжений.

Величина секущего модуля деформации при опорном давлении определяется автоматически на основании указанных ранее значений параметров сопротивления сдвигу. В случае если при испытании выполнялась разгрузка, автоматически будет определен модуль деформации при разгрузке, и, при возможности, коэффициент Пуассона при разгрузке.

Определение угла дилатансии выполняется путем указания на зависимости объемных деформаций от вертикальных точки, соответствующей максимальному наклону графика при подъеме (при наличии). Данная методика введена в Приложение К актуализируемого ГОСТ 12248.3 и после его утверждения станет нормативной.

Расчет степенного показателя жесткости выполняется автоматически на основании двух полученных значений секущего модуля, а также параметров сопротивления сдвигу. Изменение параметра вручную не допускается.

На вкладку «Сводная таблица» выводятся все параметры, как входные, так и полученные в результате работы модуля.

Заключение

Таким образом, модуль Hardening Soil представляет собой удобный инженерный калькулятор, позволяющий снизить трудоемкость обработки результатов испытаний и сохранить интеграцию с привычной базой данных программного комплекса EngGeo. Коллектив разработчиков надеется, что появление на рынке данного модуля сделает определение параметров нелинейных моделей доступным любой изыскательской организации. Это позволит в течение нескольких лет накопить необходимый опыт определения параметров и снизить объем фальсифицированных данных в отчетах.

По вопросам приобретения модуля обращайтесь к разработчику - <http://EngGeo.net/index.html>