

## РЕШЕНИЕ СОПРЯЖЕННЫХ ЗАДАЧ ГЕОМЕХАНИКИ И ГЕОТЕХНИКИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ МЕХАНИКИ ДЕФОРМИРОВАННОГО ТВЕРДОГО ТЕЛА

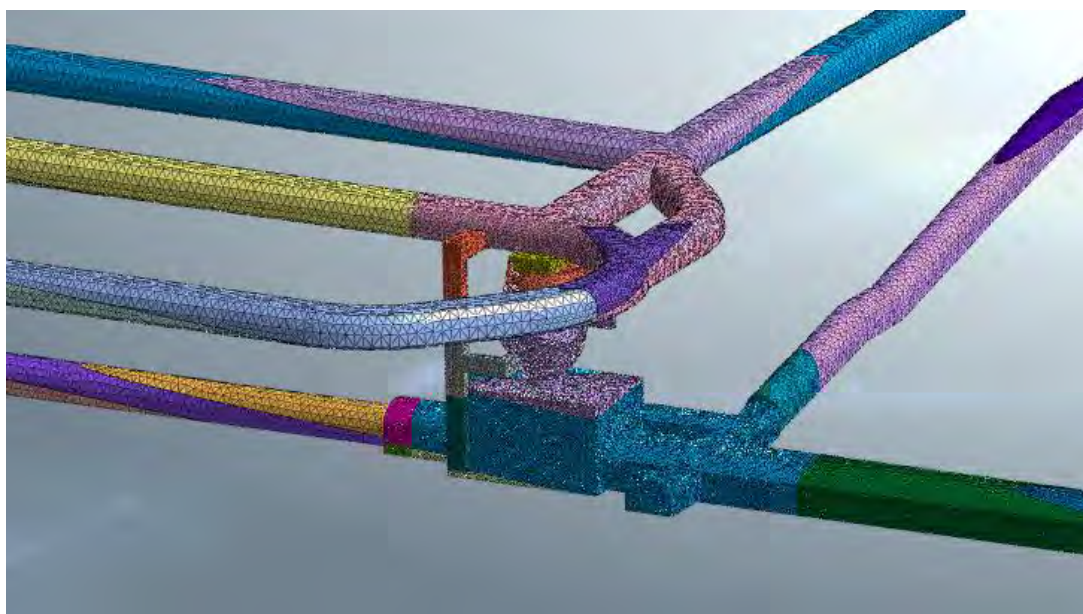
Козловский Е.Я., Богдан С.И., Журавков М.А.

*Белорусский государственный университет, Минск*

В практике строительства подземных сооружений всегда присутствуют сложные конструктивно-планировочные решения, концентрирующие комплексы взаимовлияющих выработок (см. рис.1), расчет которых не может быть произведен инженерными методиками без принятия существенного количества дополнительных допущений, упрощений и запасов.

Существующие на территории Республики Беларусь и Российской Федерации нормативные документы в области горного дела [1, 2] не допускают расчет методами механики сплошных сред.

Для анализа и подтверждения надежности принятых решений в инженерной практике проводятся проверочные расчеты методами конечных, граничных, дискретных элементов и т.д.



*Рис.1. Сетки конечных элементов цепочки камер и сопряжений*

При решении задач горной геомеханики и расчета крепей методом конечных элементов (см. рис.2) часто применяется критерий Мора-Кулона, требующий кроме деформационных показателей, ещё и характеристики сопротивления сдвигу, а также может быть расширен критериями прочности на растяжение, дилатансии и т.д.

В ходе расчета может быть искусственно учтена происходящая на различных временных этапах разгрузка массива, а в результате получены конечные напряжения в крепи (обделке) или иных конструкциях, при переходе из которых на усилия в дальнейшем произведен расчеты по двум предельным состояниям согласно действующим нормативным подходам к расчетам бетонных и железобетонных конструкций.

В трещиноватых массивах задачи усложняются и решение во многом зависит от характерных поверхностей скольжения, их ориентации, положения и формы.

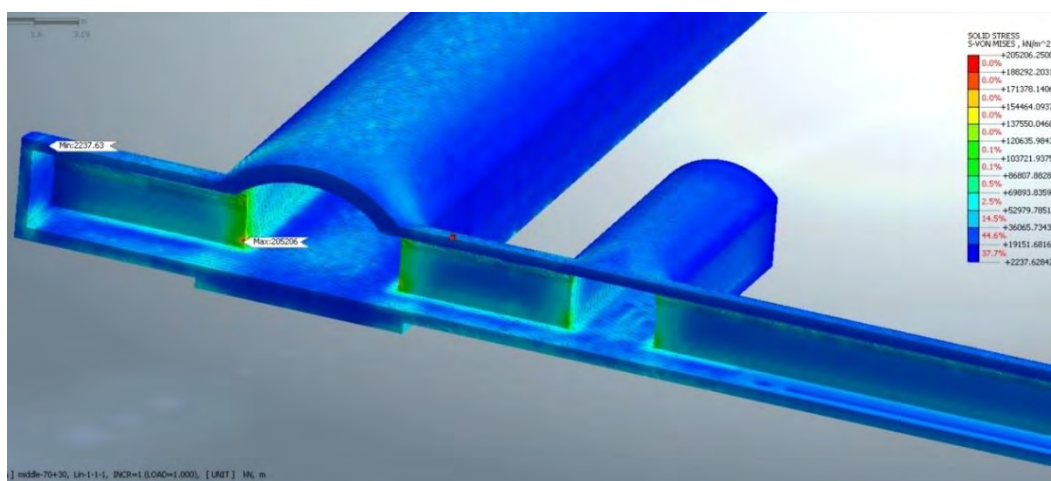


Рис. 2. Эквивалентные напряжения по Мизесу (кПа) в крепи сопряжения

Иначе дело обстоит в строительстве сооружений, не связанных с добычей полезных ископаемых. В частности, нормативные документы на тоннели и метрополитены допускают расчеты методами механики сплошных сред [3-5], а наиболее прогрессивные актуализированные нормы по проектированию коллекторов и оснований сооружений [5-8] во многих случаях отдают предпочтение анализу численными методами перед аналитическими и полуэмпирическими, т.к. их применение позволяет получить достаточно надежные результаты для сооружений, усилия в которых сильно зависят от жесткости соседних сооружений, жесткости и прочности окружающего геомассива и его напряженного состояния.

В ежедневной геотехнической практике появляется все больше задач по оценке влияния нового строительства на существующие сооружения, а также связанных со сложной геометрией расчетной схемы [9]. При этом становится очень важно учитывать сложную нелинейную работу грунта в допредельной стадии, а использованием идеально упруго-пластической модели, которая сохраняет линейную связь «напряжения-деформации» до перехода в течение на пределе, можно получить результаты противоречащие здравому смыслу (подъем здания при разработке глубокого котлована вблизи). Современные модели упрочняющейся среды требуют расширенных лабораторных испытаний грунтов, но позволяют описать геомассив с учетом модуля деформации при «разгрузке – повторной нагрузке», изменения объема при действии касательных напряжений, описывают дилатансию и контракцию, снижение сопротивления сдвигу. В результате учета вышеперечисленных факторов получается корректная картина напряженно-деформируемого состояния при снижениях напряжений, а также происходит уход от понятия глубины сжимаемой толщи.

При решении практических задач геотехники (см. рис.3) большое внимание уделяется коррекции вводных параметров модели, проведению виртуальных испытаний грунтов, дублирующих лабораторные до удовлетворительного повторения результатов. При этом происходит подбор некоторых дополнительных параметров вручную по известным теоретическим зависимостям, заложенным в математические модели.

В течение последних 10 лет вычислительные мощности значительно возросли, в т.ч. за счет развития архитектуры параллельных вычислений на графических процессорах (CUDA), получили широкое распространение в геотехническом проектировании более современные модели грунтов, учитывающие допредельную нелинейную работу материала, хорошо коррелирующую с его реальным поведением.

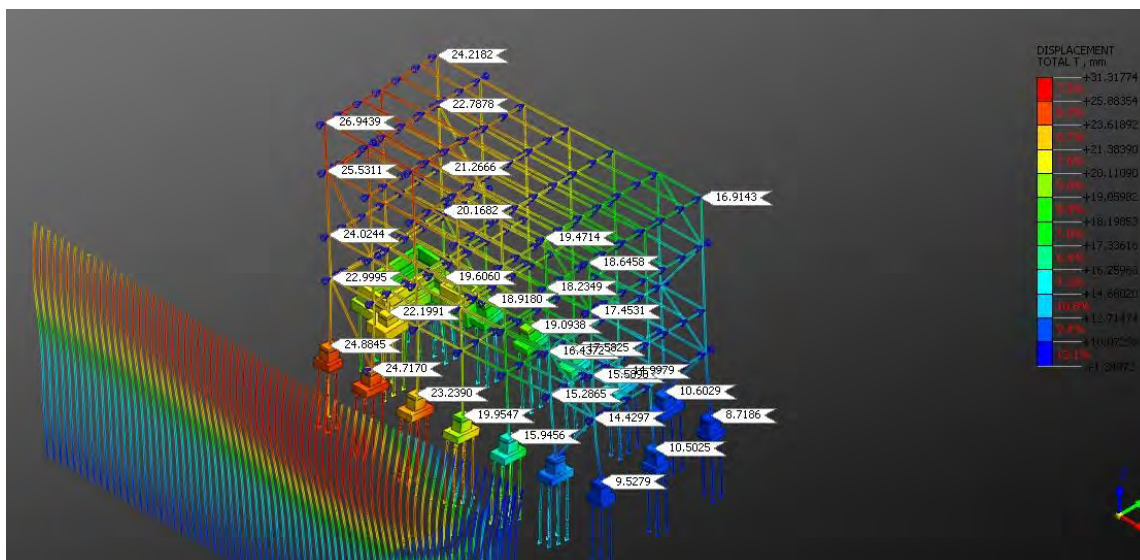


Рис. 3. Суммарные деформации здания при экскавации грунта у подпорной стены для нового строительства

Использование получаемых в результате численного анализа данных совместно с натурными наблюдениями способствует адекватной оценке проектных ситуаций, позволяют избежать перерасхода материалов и дополнительных работ без реальной необходимости, предвидеть неявные нежелательные эффекты и обеспечить сохранность существующих зданий и сооружений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП II-94-80 Подземные горные выработки;
2. СП 91.13330.2012 Подземные горные выработки;
3. СП 120.13330.2012 Метрополитены;
4. СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автодорожные;
5. СП 248.1325800.2016 Подземные сооружения. Правила проектирования;
6. СП 249.1325800.2016 Коммуникации подземные. Проектирование и строительство закрытым и открытым способом;
7. ТКП EN 1997-1-2009 Геотехническое проектирование;
8. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений;
9. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения, — 2-ое издание, дополненное и переработанное, Москва: АСВ, 2016. — 1040 с.