

ПРОБЛЕМЫ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ-КОНКУРС
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

19-21
АПРЕЛЯ
2017



Авторы: Ivan Akinshin, Christian Missal, Lothar te Kamp (Itasca Consultants GmbH), Marat Khayrutdinov

Определение прочностных характеристик закладочного массива при подземной добыче солей методом числового моделирования с помощью FLAC3D

Kurzfassung

Im Artikel werden Fragen behandelt, die mit der Verringerung von Abbauverlusten beim Tiefbau und Fragen der Standsicherheit verbunden sind. Es werden Probleme der rationellen Ausnutzung von Bodenschätzen und des Umweltschutzes dargestellt. Mit Hilfe numerischer Berechnungen wurden die benötigten Festigkeitseigenschaften von Versatz unter geologischen und Abbaubedingungen bestimmt. Dazu wurde ein numerisches Modell erstellt und Spannungsberechnungen für das Gebirge für verschiedene Zeitpunkte quasi in-situ während des Abbaue durchgeführt.

Введение

В данной статье обобщены результаты масштабных стратегических исследований в области развития геотехнологии и её взаимодействия с окружающей средой. Основным направлением исследований явилась концепция обеспечения экологической безопасности освоения недр, что было сопряжено с уменьшением потерь в процессе подземной добычи полезных ископаемых, увеличением устойчивости подземных сооружений, а также были решены задачи рационального использования природных ресурсов. В результате исследований были предложены технологические решения рационального извлечения полезного ископаемого из недр с учётом всех форм воздействия геотехнологии на окружающую среду и изложены основные пути решения данных задач горнодобывающей промышленности.

Разработки в рамках проекта не ограничивались монодисциплинарными исследованиями, а применялись междисциплинарные, требующие участия специалистов различных областей и проводились на стыке нескольких научных дисциплин (математика, физика, химия, геомеханика, природопользование и др.). В результате экспериментов при которых применялся метод числового моделирования, были получены необходимые прочностные характеристики закладочного массива используемого при подземной разработке соляных месторождений. Для этого была построена числовая модель и произведены расчеты (in-situ замеры) главных напряжений и деформаций в горном массиве для различных моментов времени с учетом очистных и закладочных работ.

Для увеличения полноты выемки, снижения себестоимости добычи полезного ископаемого с одновременным снижением негативного влияния геотехнологии на окружающую среду необходимо оптимизация технологии извлечения полезного ископаемого из недр. При подземной разработке месторождений полезных ископаемых часто нарушается целостность и герметичность крупных водоносных горизонтов, что приводит к рискам затопления подземных сооружений, к значительному ухудшению общешахтной безопасности и изменению гидрогеологической ситуации месторождения.

Использование систем разработки с твердеющей закладкой позволяют получить как экономические (увеличение полноты выемки; увеличение срока существования рудника; отсутствие расходов на строительство хвостохранилищ и отвалов пустых пород), горнотехнические (эффективное управление горным давлением, что повышает безопасность ведения горных работ; уменьшение потерь полезного ископаемого) эффекты, так и экологические (сохранение земной поверхности; утилизация отходов и снижает вредное воздействие таковых на окружающую среду) и приведёт к безотходному производству.

Software FLAC3D 5.0

Программное обеспечение **FLAC3D 5.0** (Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3 Dimensions, ITASCA Consulting Group) служит для построения трехмерных моделей различных нелинейнозависимых свойств материалов и базируется на четко заданных параметрах моделирования. Программа описывает механическое взаимодействие сплошных трехмерных объектов.

Построение модели

Геометрические размеры модели такие как ширина, длина, глубина для числового моделирования согласно рекомендаций должна составлять 5-8 размеров изучаемого объекта. Рассматриваемый участок отработки составляет 36 м, состоит из 9 камер по 4 м шириной и 4 м высотой, глубиной 1 м (Y-ось), данная модель представлена как 2,5D объект для сокращения расчетного времени и отсутствия влияния глубины на результаты моделирования.

Геометрические параметры модели:

ширина 180 м (X-ось)

высота 54 м (Z-ось)

глубина 1 м (Y-ось).

Мощность геологических пластов составляет (см. Рис 2)

Налегающие породы кровли (красный) – 40 м

Отрабатываемый пласт соли (зеленый) – 4 м

Подстилающие породы (голубой) – 10 м.

Для построения модели были использованы различные свойства пород Power Law – ползучие свойства для горного массива и упругие свойства для закладки. С приложением нагрузки в верхней части модели 30 МПа, что соответствует глубине разработки 1200 м. Во время добычных и закладочных работ производились замеры максимальных напряжений (12 м) и деформаций (14 м, 30 м и 50 м). См. Рис.2.

Прежде всего определялись деформации налегающих пород кровли и максимальные напряжения в зависимости от времени. На основании этих данных возможно сделать выводы о прочностных характеристиках закладочного массива в зависимости от времени.

FLAC3D 5.01

©2016 Itasca Consulting Group, Inc.

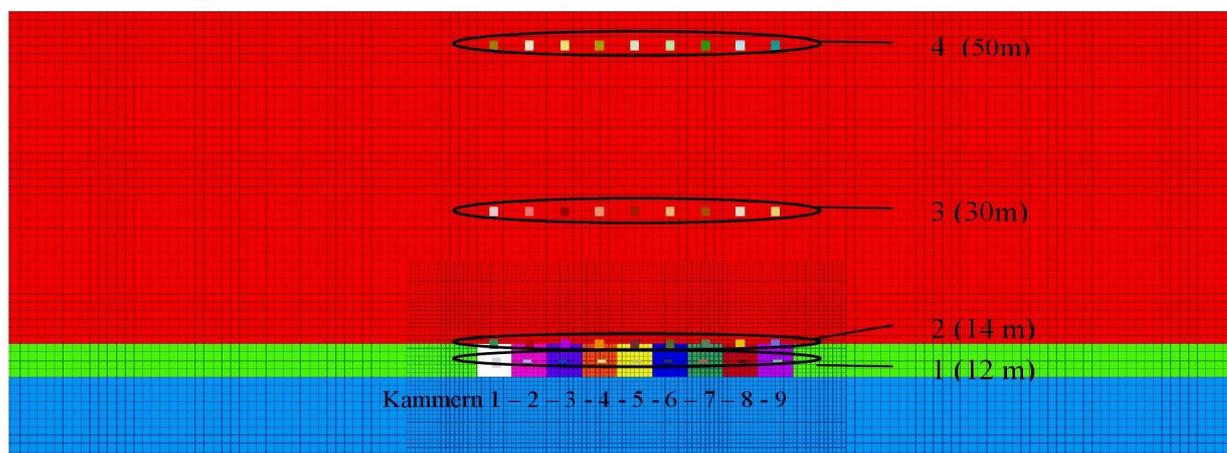


Рис. 2 In-situ замеры
Области замеров in-situ. 1-максимальные напряжения; 2, 3, 4-деформации.

Результаты моделирования

Результаты деформаций в зависимости от времени представлены на рисунке 3, таким образом максимальные и минимальные деформации составили для камеры 3 – 0,506 м и соответственно для камеры 8 – 0,440 м.

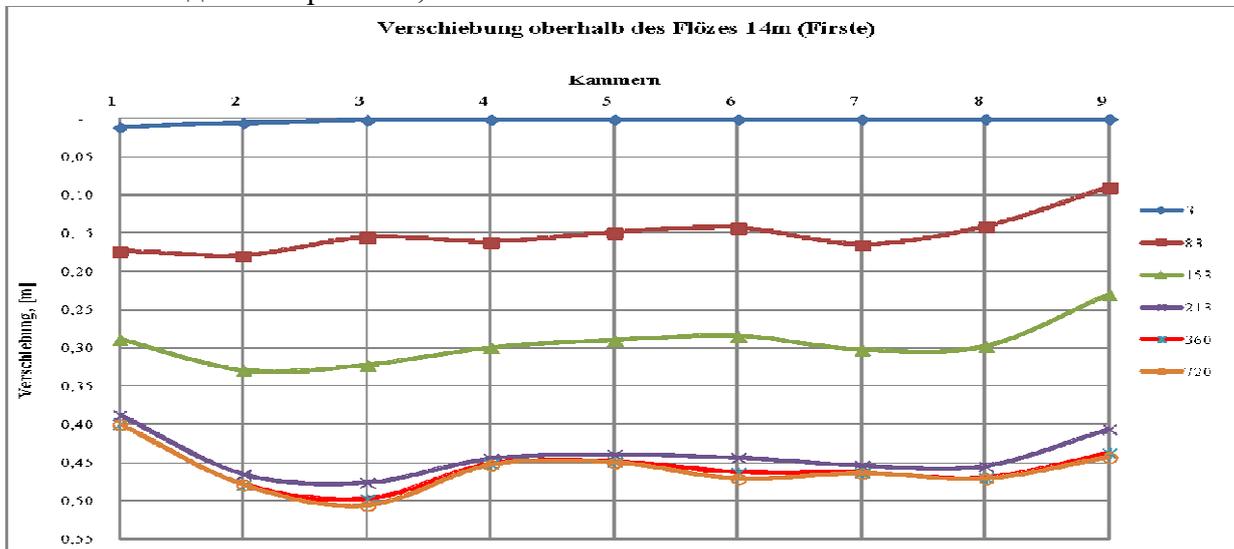


Рис. 3 Деформации кровли на отметке 14 м в зависимости от времени

X-ось камеры ; Y-ось деформации [м]; справа-время замеров [день]

На рисунке 4 представлены максимальные напряжения в зависимости от времени. После завершения закладочных работ для каждой камеры в интервале времени 7-60 дней.

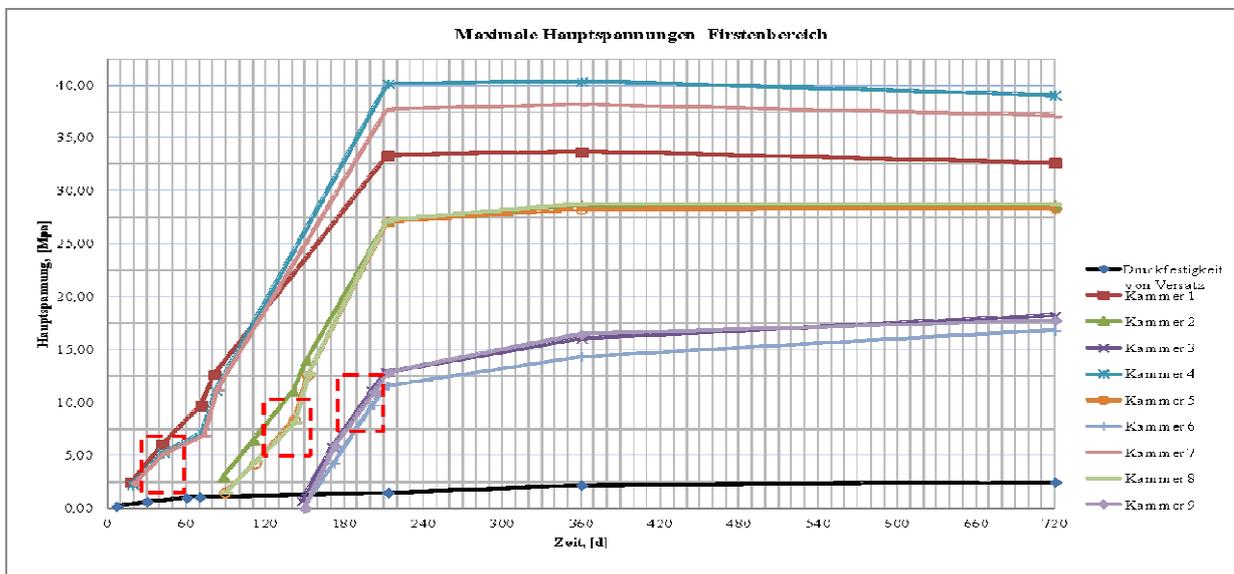


Рис. 4 Максимальные напряжения для различных камер

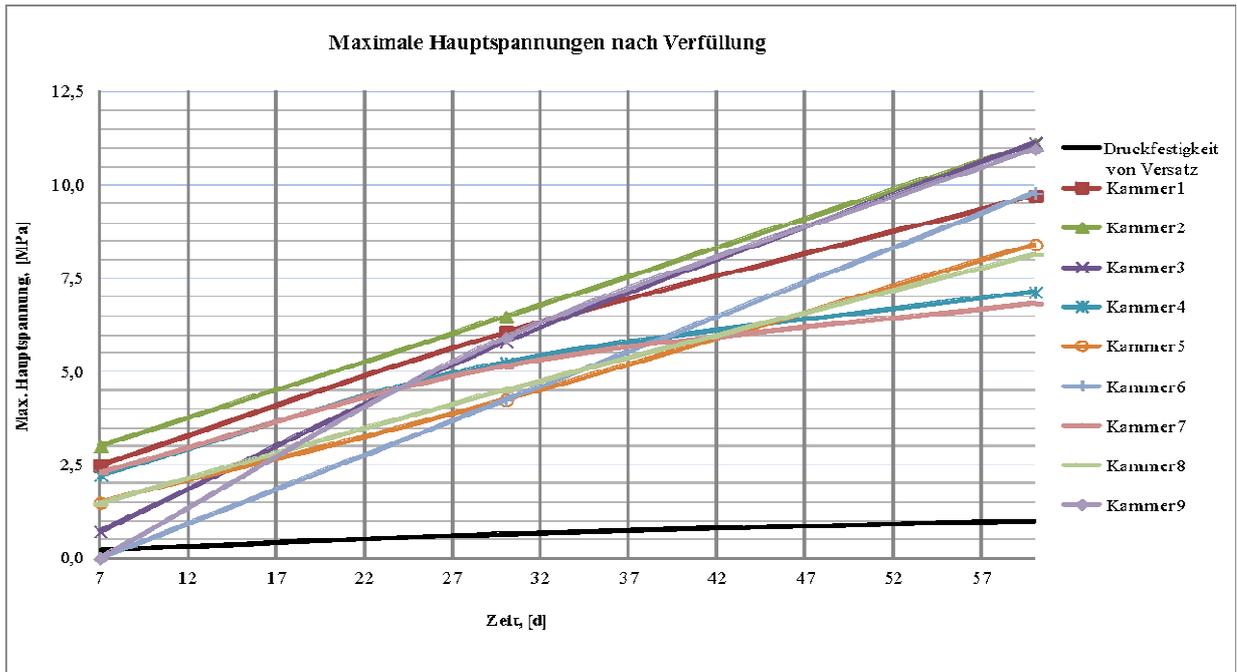


Рис. 5 Максимальные напряжения в зависимости от времени после закладки камер.

На основании данных графиков (Рис. 4, 5) возможно определить самое высокое ожидаемое горное давление среди максимальных напряжений для определения прочностных характеристик искусственного массива. В данном случае максимальные нагрузки были установлены над камерой 2 со следующими параметрами изменения давления.

Время после закладки камеры 2, дн.	7	30	60
Изменение макс. напряжений над камерой 2, МПа	3,01	6,47	11,10

Выводы

На основании рисунка 4 можно сделать выводы, что 95 % максимальных конвергенций кровли происходят до 213 дня, после чего закладочный массив перенимает горное давление, которое постоянно изменяется, и при этом кинетика увеличения горного давления линейна. После 213 дня закладка не имеет практически заметных деформаций и кинетика горного давления заметно замедляется.

Необходимые прочностные характеристики закладочного массива в зависимости от времени смоделированы и определены с помощью замеров максимальных напряжений в модели. Самое высокое максимальное напряжения зафиксированно для камеры 2 и составило 2,5-11,1 Мра (7-60 дн.). Это означает, что прочностные свойства закладки должны быть выше максимальных напряжений камеры 2, чтобы гарантировать безопасность горных работ.

Данная методика позволила определить оптимальное значение прочностных характеристик в зависимости от времени закладочного массива после затвердевания, что позволяет подобрать оптимальный состав закладочной смеси при отработке месторождения с искусственным поддержанием очистного пространства, применение которой позволяет решить следующие задачи: утилизация отходов горного производства; дополнительная отработка целиков, то есть уменьшение потерь и увеличение срока существования рудника, что решило социальный вопрос, где горнодобывающее предприятие является градообразующим; сохранение целостности и герметичности водоносных горизонтов, что предохраняет рудник от затопления/разрушения и приводит к сохранению дневной поверхности

Список литературы

1. Ivan Akinshin, Christian Missal, Lothar te Kamp, Simulation des druck- und zeitabhängigen Verhaltens von Versatzmaterial bei numerischen Berechnungen. Mining Report 153 (2017) Nr. 2.
2. Roschlau, H.; Heintze, W.: Bergbautechnologie (Lehrbuch). Erzbergbau Kalibergbau. VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1980.
3. Itasca Consulting Group, Inc.: FLAC3D Theory and Background. Minneapolis, 2013
4. Itasca Consulting Group, Inc.: FLAC3D Creep Material Models. Minneapolis, 2013
5. Вотяков М.В. Повышение полноты извлечения запасов калийных руд на основе закладки выработанного пространства галитовыми отходами Автореферат дисс. канд. техн. наук / – М., 2007.
6. Хайрутдинов М.М., Вотяков М.В. Гидравлическая закладка на калийных рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2007. – №6. – С. 214 - 218.
7. Хайрутдинов М.М., Вотяков М.В. Возможность применения систем с твердеющей закладкой при отработке калийных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2007. – №9. – С. 265 - 270.