

## Выбор оптимального типа крепи камеры в массиве каменной соли на руднике г. Соль-Илецк

*Я.А. Богданов, С.Е. Соколова, А.В. Манько*

*Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** В составе Соль-Илецкого рудника №2 планируется возведение и устройство оздоровительного курортного центра для лечения респираторных заболеваний. Данный оздоровительный центр позволит оказывать медицинские услуги в лечебных соляных камерах на первом горизонте (123 метра под землей). Для этого необходимо использовать отработанные горизонты каменной соли (камерные выработки). Для сооружения оздоровительного комплекса по соображениям безопасности в части подземных выработок требуется устроить крепь. В данной статье рассматривается математическое моделирование и выбор оптимального типа крепи камерных выработок.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, напряженно-деформированное состояние, НДС, каменная соль, крепь, камерная выработка, метод конечных элементов, МКЭ, редевелопмент.

Месторождение каменной соли в Соль-Илецке (Оренбургская область) было открыто в XVI веке и велось открытым способом. Первые две шахты глубиной чуть более 40 м были заложены в 1881 годы. В настоящее время ведется разработка рудника под №2, который вступил в эксплуатацию в 1964 году [1]. Глубина шахтного ствола составляет на данный момент 332 м. Максимальная производственная мощность месторождения составляет 1,7 млн. т. в год [2]. По самым минимальным подсчетам, объемов каменной соли в руднике хватит еще на несколько столетий [3].

Отработка месторождения каменной соли ведется при помощи камерных горных выработок [4]. Отработанные выработки представляют собой параллельные камеры, имеющие целики из каменной соли. Как правило, низ камеры состоит из пустой породы, а свод состоит из каменной соли и пустой породы, расположенных стохастически. Камеры имеют высоту 30 м., ширину - 29 м. и длину - 150-320 м. Камеры располагаются в меридиональном направлении, т.е., не соосно с камерами затопленного рудника №1. Ширина междукамерных целиков принята: 25 м.

Форма поперечного сечения выработок, проходимых комбайном «Урал-10», «приближается» к овално-арочной. Илецкое месторождение характеризуется как устойчивое, смещения происходят в допустимых пределах упругости и пластичности. При комбайновой разработке Илецкого месторождения каменной соли, кровля и бока выработок (камер) крепления не требуют. Высота слоев 2-2,2 м, кроме первого: первый слой («подсечка») – 2,6 м. Всего в камере проходится 8 заходов по ширине и 14 слоев по высоте [5]. На рис.1 показан план подземных выработок рудников №№ 1 и 2.

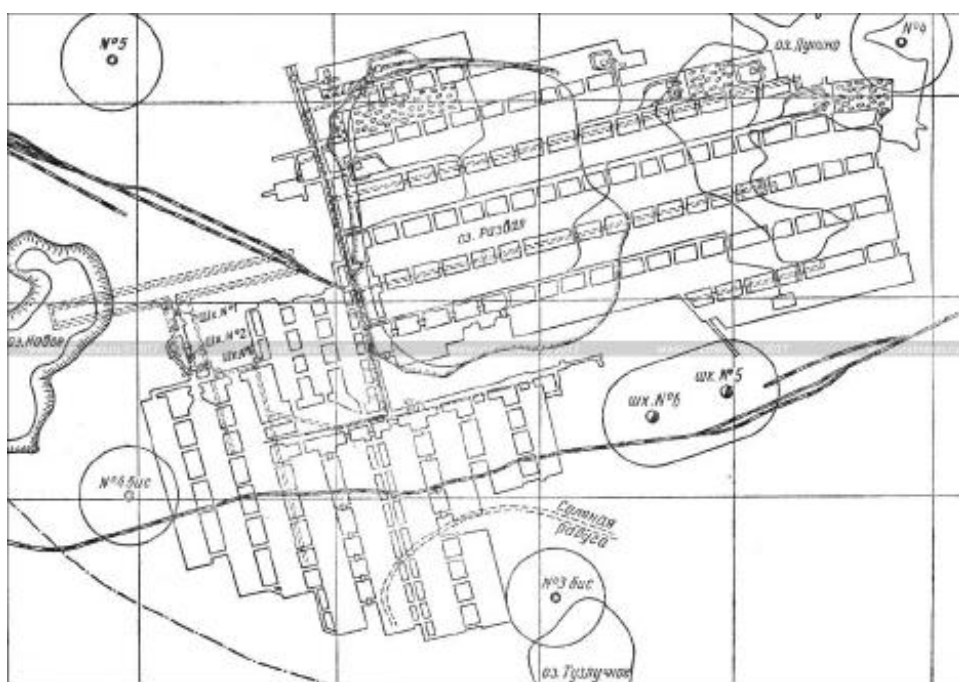


Рис.1. – План рудника №1 и №2.

Под затопленным рудником №1 (в интервале отметок +20 м и –130 м) и действующим рудником №2 оставлен водозащитный предохранительный целик, средней мощностью 130 м. В 2017 году в этаже -130/-160м завершены очистные работы. После завершения очистных работ в этаже -130/-160 м началась отработка этажа -185/-215 м.

Идея повторного использования подземных выработок не нова. Во всем мире отработанные выработки шахт полезных ископаемых подвергаются модернизации и редевелопменту [6]. В Польше, в городе

Величка, есть бывшая соляная шахта, которая используется, как туристический объект и курорт [7]. Курорт Величка стала прообразом для данного проекта [8].

Но, в отличие от Велички, где разработка в основном велась в вертикальном плане и, в связи с этим, очень мало отходами горно-обогатительной переработки заполняли отработанное пространство. К сожалению, в нашей стране этим видом отходов заполняют все подземное пространство. Поэтому, для начала работ по редевелопменту шахты, в туристический и оздоровительный объект необходимо утилизировать отходы переработки. Как, например, было предложено сделать в шахтах Курской Магнитной Аномалии [9]. При моделировании подземных выработок [10] и последующего редевелопмента наличие отходов горно-обогатительного комбината в подземных выработках не учитывается.

При моделировании крепления камерных выработок можно использовать несколько вариантов, но наиболее реальные это:

1. Металлическая крепь арками с сеткой типа «Рабица» для недопущения падения камней вниз выработки;
2. Бетонная балочная крепь из солестойкого железобетона;
3. Набрызгбетонная крепь;
4. Естественное залегание каменной соли без креплений.

Последний вариант нужен для того, чтобы проверить устойчивость выработок рудника, которые были отработаны некоторое время назад и уже заброшены, т.е. в них не проводится геомеханический мониторинг. Моделирование будет вестись методом математического моделирования – методом конечных элементов при помощи программного комплекса Plaxis-3D. Металлическая и бетонная крепи были заданы элементами Beam, торкретбетонная крепь – Plate.

---

В связи с техническими ограничениями ПК Plaxis, невозможно присвоить в одном и том же расчёте геометрическим элементам Line значения расчетных элементов Plate и Beam. В связи с этим, было принято решение о создании двух копий одной и той же расчётной модели, в одной из которых элементам Line, обозначающим границы выработки, были присвоены расчётные элементы Beam (варианты креплений №1 и №2), а в другой – расчётные элементы Plate (вариант крепления №3). Поскольку в разных моделях использовались разные типы расчетных элементов, то сетка конечных элементов так же была разной. Для возможности сравнения результатов, в каждой модели также были рассмотрены варианты проходки без креплений.

На рис. 1 показаны результаты моделирования – металлическая крепь.

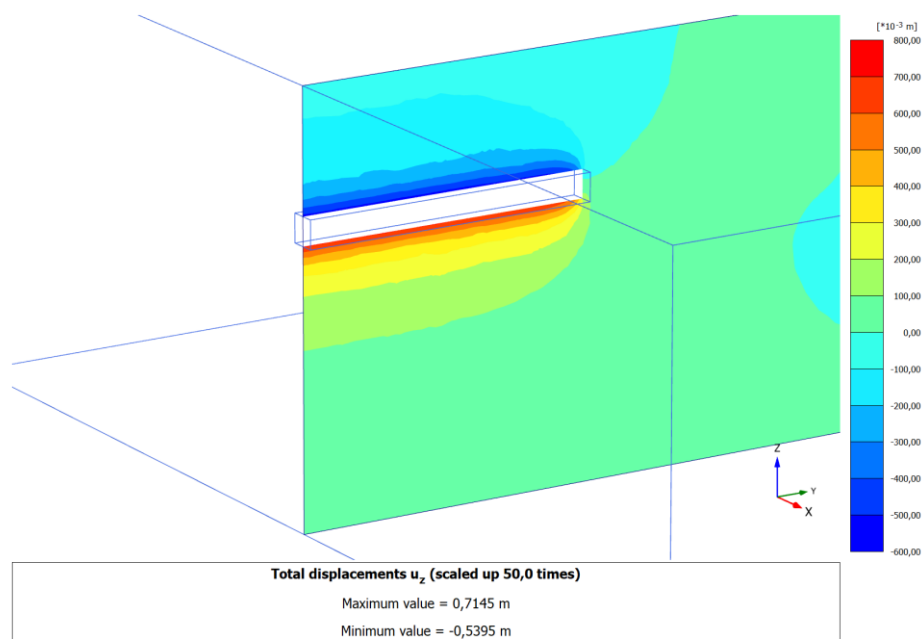


Рис.1. – Вертикальные перемещения камеры с металлической крепью.

На рис. 2 показаны результаты моделирования камерных выработок с бетонной балочной обделкой.

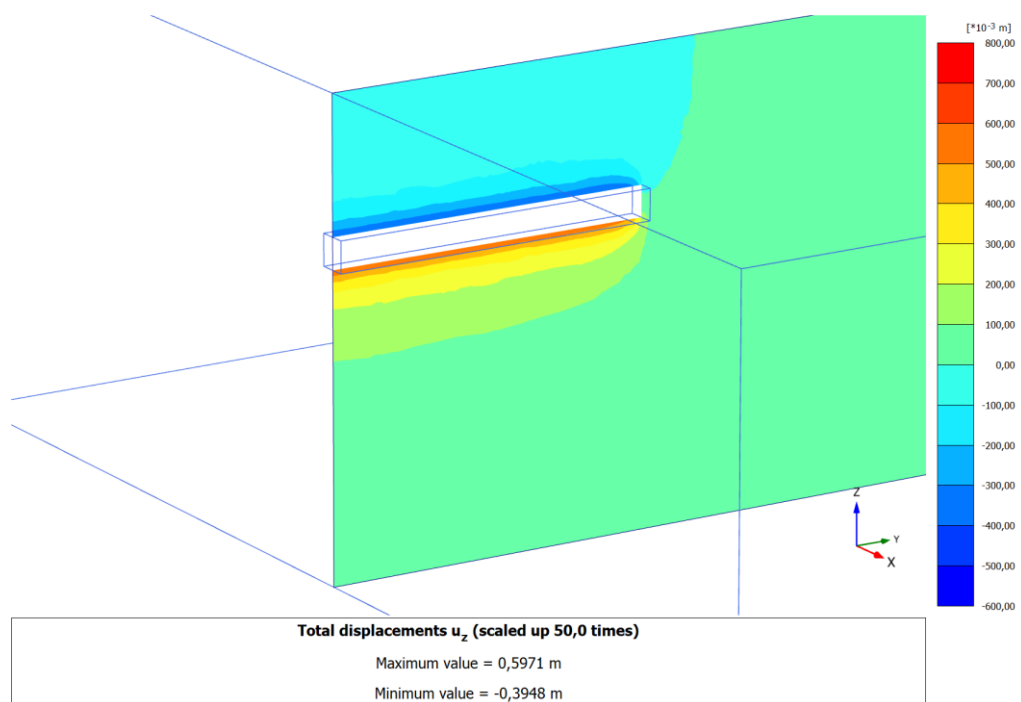


Рис.2. – Вертикальные перемещения камеры с железобетонной крепью.

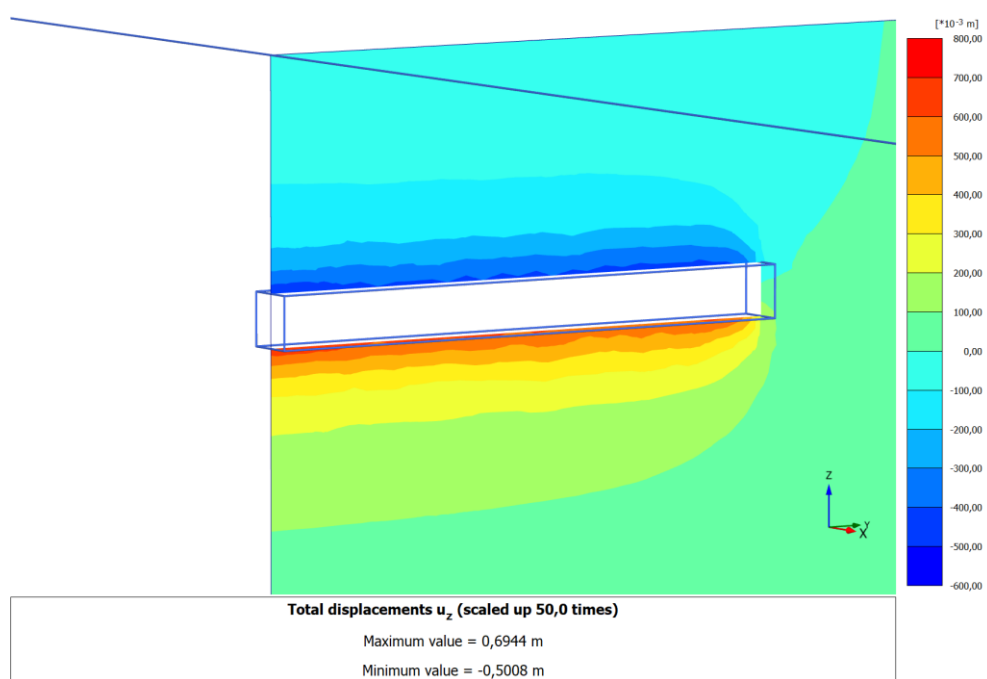


Рис. 3. – Вертикальные перемещения камеры с торкретбетонным креплением.

На рис. 3 показаны результаты моделирования камерных выработок с крепью из торкретбетона. На рис. 4 показаны результаты моделирования камерной выработки без крепления.

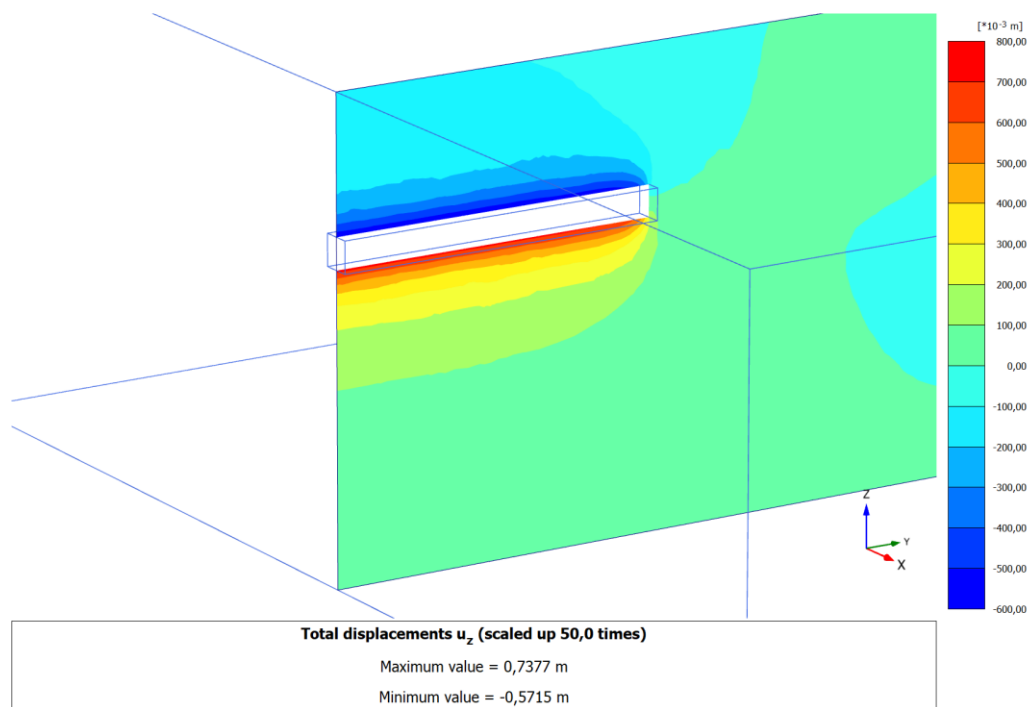


Рис.4. – Вертикальные перемещения камеры без креплений.

Все результаты сведены в таблицу 1.

Таблица № 1

Результаты проведенного моделирования крепи

№ опыта	Вид крепи	Вертикальное перемещение в массиве камерной выработки, см
1	Металлическая крепь (с улавливающей сеткой)	71,45
2	Бетонная балочная обделка	59,71
3	Торкретбетон	69,44
4	Без крепления	73,77

Анализируя полученные результаты численного моделирования камерной выработки соляной шахты, при ее редулопменте самой оптимальной крепью будет бетонная балочная обделка.

## Литература

1. Филимонова И.Ю. Основы рекреационной географии: Учебное пособие. Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2011. 166 с.
2. Семенов В.В., Мапьер М.А., Петров В.П., Морозов С.П. Проходческо-очистные комбайны "Урал" для добычи калийной руды и каменной соли // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 8. С. 17-21.
3. Норейка С.Ю. Формирование и ландшафтная трансформация Илецкого месторождения каменной соли и гипса // Известия Оренбургского отделения Русского географического общества. 2017. № 9(42). С. 68-77.
4. Лаптев Б.В., Козаченко М.Г. О проблемах разработки Илецкого месторождения каменной соли // Безопасность труда в промышленности. 2004. № 6. С. 53-54.
5. Мозер С.П. Обоснование рациональных параметров технологии разработки каменной соли на месторождениях купольного типа: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Санкт-Петербург, 2004. 18 с.
6. Mert Y. Contribution to sustainable development: Re-development of post-mining brownfields // Journal of Cleaner Production. vol. 240. № 12. 2019. URL: [doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118212](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118212).
7. Mirek J. Analysis of Tourist Traffic Implemented in Health Resort "Wieliczka" Salt Mine under Health Tourism // Ekonomiczne Problemy Turystyki. №1. 2016. URL: [doi.org/10.18276/ept.2016.3.35-18](https://doi.org/10.18276/ept.2016.3.35-18).
8. Петрищев В.П., Норейка С.Ю. Соляная тектоника как фактор развития курортно-рекреационных кластеров (на примере курортных ресурсов города Соль-Илецк) // Молодой ученый. 2017. № 21-1(155). С. 47-49.
9. Голик В.И., Прокопов А.Ю., Масленников С.А., Базавова О.В. Разработка основ высокоэффективной технологии утилизации отходов

горно-обогатительной переработки руд КМА // Инженерный вестник Дона. 2013. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2168](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2168).

10. Насонов А.А., Давыденко А.П. Математическое моделирование призабойной зоны ствола при совмещенной схеме проходки // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7498](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7498).

### References

1. Filimonova I.Ju. Osnovy rekreacionnoj geografii: Uchebnoe posobie. [Fundamentals of Recreational Geography: Textbook]. Orenburg: Orenburgskij gosudarstvennyj universitet, 2011. 166 p.

2. Semenov V.V., Map'cher M.A., Petrov V.P., Morozov S.P. Gornoe oborudovanie i jelektromehaniika. 2008. № 8. pp. 17-21.

3. Norejka S.Ju. Izvestija Orenburgskogo otdelenija Russkogo geograficheskogo obshhestva. 2017. № 9(42). pp. 68-77.

4. Laptev B.V., Kozachenko M.G. Bezopasnost' truda v promyshlennosti. 2004. № 6. pp. 53-54.

5. Mert Y. Journal of Cleaner Production. vol. 240. № 12. 2019. URL: [doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118212](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118212).

6. Mirek J. Ekonomiczne Problemy Turystyki. №1. 2016. URL: [doi.org/10.18276/ept.2016.3.35-18](https://doi.org/10.18276/ept.2016.3.35-18).

7. Mozer S.P. Obosnovanie racional'nyh parametrov tehnologii razrabotki kamЕННОj soli na mestorozhdenijah kupol'nogo tipa: avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniicheskikh nauk. [Justification of rational parameters of rock salt development technology at dome-type deposits]. Sankt-Peterburg, 2004. 18 p.

8. Golik V.I., Prokopov A.Ju., Maslennikov S.A., Bazavova O.V. Inzhenernyj vestnik Dona 2013. № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2168](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2168).





9. Nasonov A.A., Davydenko A.P. Inzhenernyj vestnik Dona 2022. № 3. URL:  
[ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7498](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7498).