

РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ КАВЕРНЫ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ГАЗА, СОЗДАННОЙ В СОЛЯНОЙ ТОЛЩЕ, И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СОСТОЯНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Д. В. Шустов

*Научные руководители – профессор Ю. А. Кашников,
ст. преподаватель С. В. Гладышев*

В статье рассматриваются вопросы расчета устойчивости подземных сооружений с применением метода математического моделирования.

В настоящее время все большее значение приобретает проблема освоения подземного пространства. Как известно, параметры выработок в первую очередь зависят от механических и прочностных свойств пород, слагающих толщу. Также большое значение имеет отражение влияния подземной разработки на земную поверхность. Исходя из этого в ходе исследования ставились соответствующие задачи.

Подземные хранилища газа образуются в результате камуфлетных ядерных взрывов. В результате взрыва ядерного заряда мощностью 8,5 килотонн вокруг эпицентра взрыва образуется полость правильной шаровидной формы радиусом 20 м. При этом в радиусе до 100 м вокруг полости образуется зона испытавших влияние взрыва трещиноватых пород, а внутренняя поверхность полости покрыта слоем расплавленной соли толщиной 0,5 м [3]. Для прогноза влияния подземных хранилищ газа на геомеханическую и геодинамическую обстановку необходимо выполнить анализ напряженно-деформированного состояния массива. Данная задача решалась с применением математического моделирования (метода конечных элементов) в программном комплексе ANSYS. При изучении напряженно-деформированного состояния пород,

испытывавших воздействие взрыва, обычно принимается, что свойства массива изменяются по мере удаления от центра области взрыва. Экспериментальное распределение модуля деформации в приконтурном массиве, нарушенном трещинами, может быть аппроксимировано выражением [2]

$$E(r)/E = 1 - a/r^n,$$

где r – удаление точки от центра области; E – модуль упругости нетронутого массива; a , n – безразмерные параметры аппроксимации. Параметры аппроксимации были подобраны таким образом, чтобы при $r=5r_0$ получить $E(r)/E \approx 1$ (r_0 – радиус полости), а непосредственно на контуре получить $E(r)/E=0,8$. Также необходимо учесть структурное ослабление массива, что существенно влияет на сцепление пород. Данное свойство учитывается коэффициентом структурного ослабления, который изменяется в пределах от 0,6 (у контура) до 1 (на расстоянии $5r_0$) [2] по закону, приведенному выше.

Геологические данные, а также механические свойства пород для расчета были взяты по аналогии с данными на Астраханском газоконденсатном месторождении:

- для соли: $E=6000$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu=0,3$; объемный вес $\gamma=0,022$ МН/м³; предел прочности на одноосное сжатие $\sigma_c=25$ МПа; угол внутреннего трения $\varphi=30^\circ$; коэффициент сцепления $c=27$ МПа;

- для толщи покрывающих пород: $E=4000$ МПа; $\nu=0,3$; $\gamma=0,021$ МН/м³; $\varphi=25^\circ$; $c=22$ МПа.

Конечно-элементная модель горного массива и подземного хранилища составлялась таким образом, чтобы учесть все особенности развития процессов деформирования. Размеры модели задавались таким образом, чтобы удовлетворялись статические граничные условия, соответствующие гипотезе об отсутствии горизонтальных деформаций в нетронутом массиве.

Расчет выполнялся в два этапа. На первом этапе находилось исходное напряженное состояние нетронутого массива.

На этом этапе задаются изначальные свойства пород, воспроизводятся граничные условия, прикладываются нагрузки. На втором этапе формируется шарообразная полость, задаются свойства пород приконтурного массива в виде кольцевых зон с параметрами, рассчитанными в соответствии с вышеприведенной формулой, критерии прочности на основании теории прочности Дюкера–Прагера [2, 3, 4].

В результате расчета при отсутствии противодействия в сферической полости были получены следующие результаты:

- конвергенция стенок полости в месте максимума давления составляет 1,1 м (рис. 1);
- вокруг каверны образуется обширная зона пластических деформаций (рис. 2, 3);

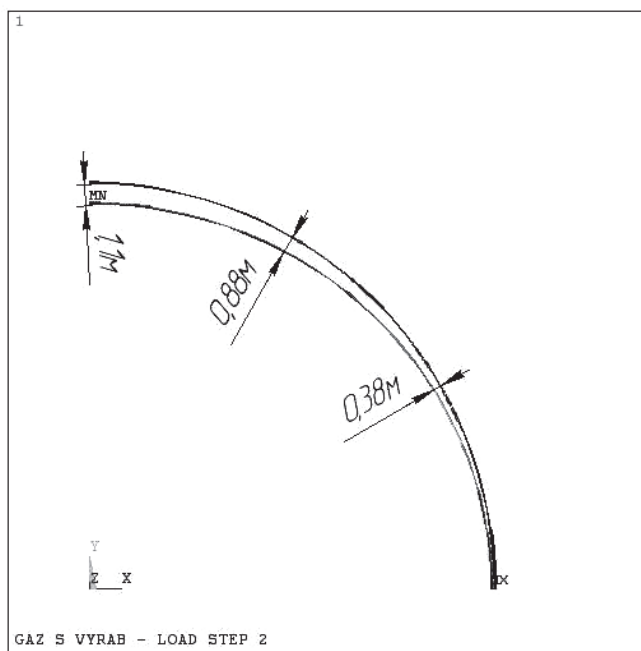


Рис. 1. Конвергенция стенок полости

- получены напряжения на контуре выработки в цилиндрической системе координат, в том числе радиальные (рис. 4); тангенциальные (рис. 5); касательные (рис. 6);
- найдены значения оседаний массива горных пород на различных глубинах и оседания земной поверхности (рис. 7).

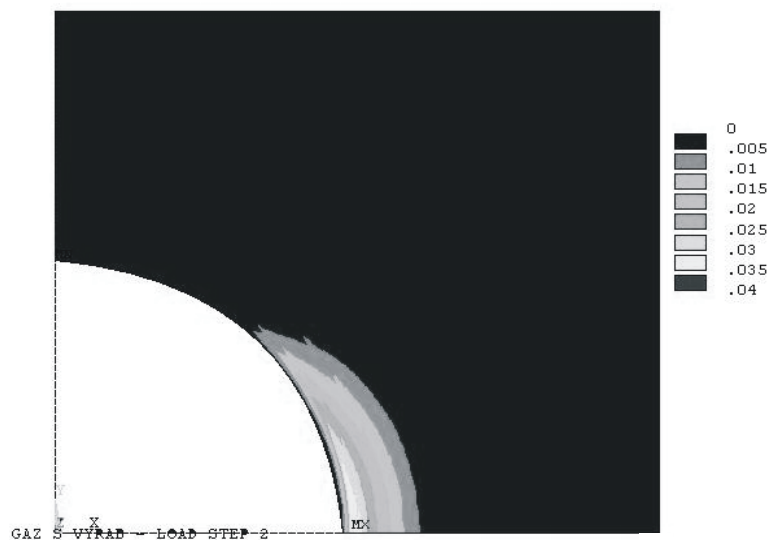


Рис. 2. Интенсивность пластических деформаций

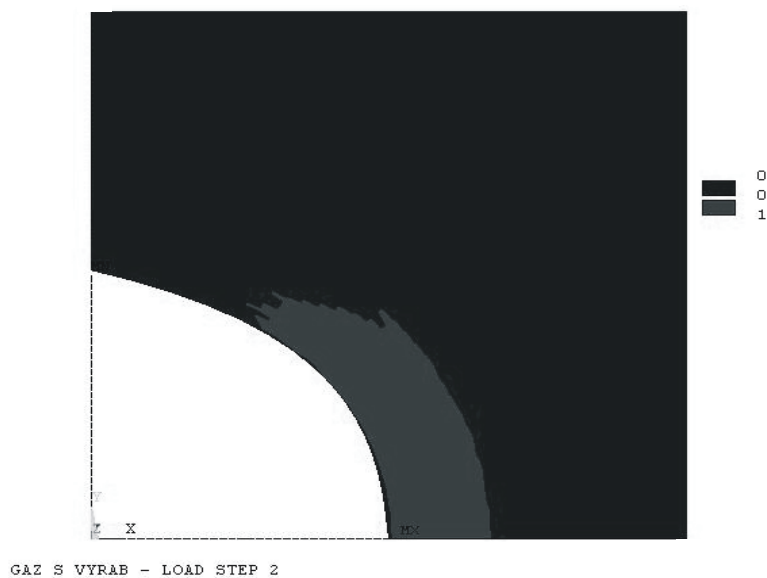
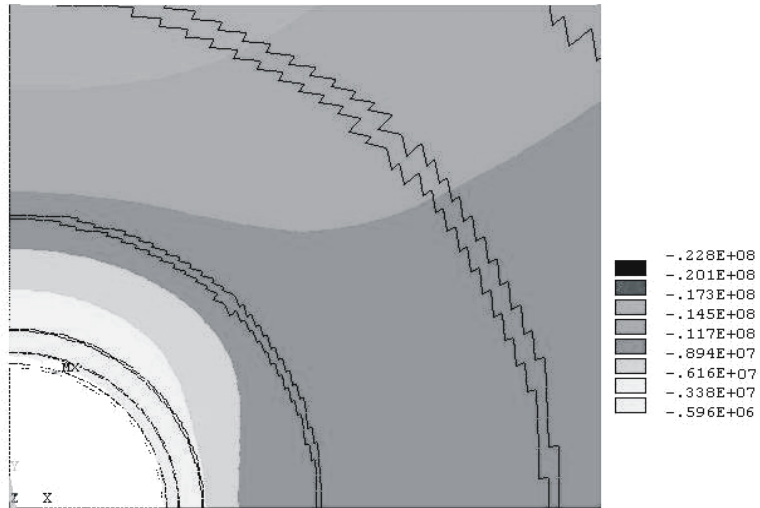


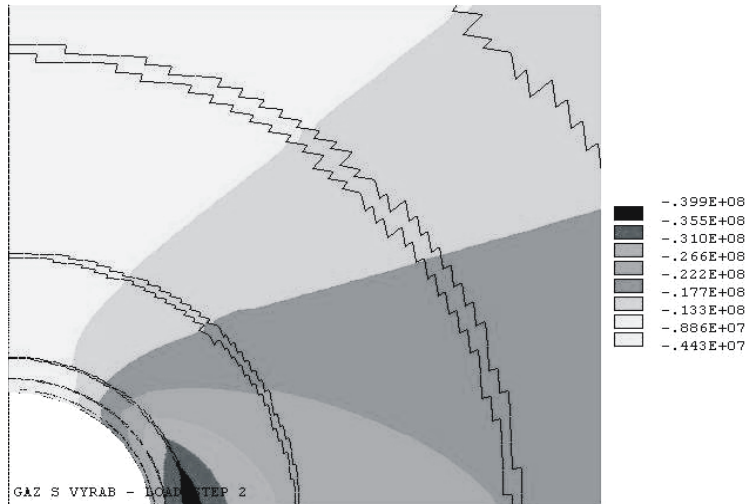
Рис. 3. Зона пластических деформаций

Таким образом, по результатам расчета необходимо отметить, что, несмотря на значительные деформации стенок каверны, разрушение полости не происходит; деформации сооружения носят быстрозатухающий характер и практически не сказываются на земной поверхности (так, на расстоянии 100 м они имеют максимальное значение 100 мм, на расстоянии 500 м – 24 мм, на поверхности – порядка 16 мм). Эти результаты получены для незаполненной емкости, то есть для наиболее неблагоприятного случая.



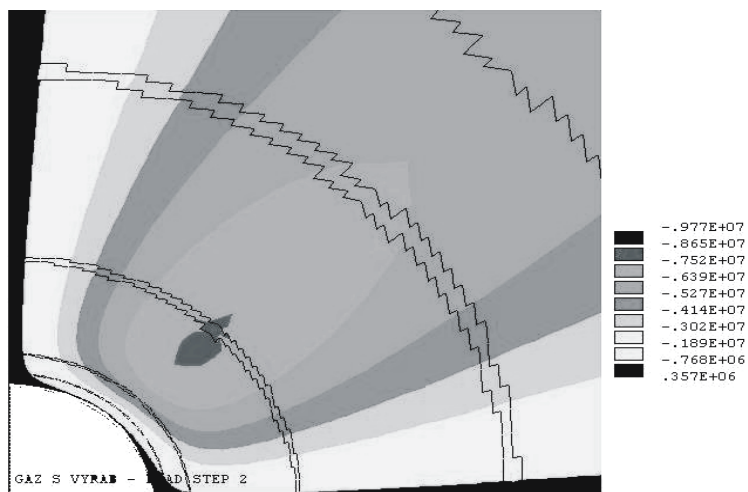
GAZ S VYRAB - LOAD STEP 2

Рис. 4. Радиальные напряжения на контуре выработки



GAZ S VYRAB - LOAD STEP 2

Рис. 5. Тангенциальные напряжения на контуре выработки



GAZ S VYRAB - LOAD STEP 2

Рис. 6. Касательные напряжения на контуре выработки

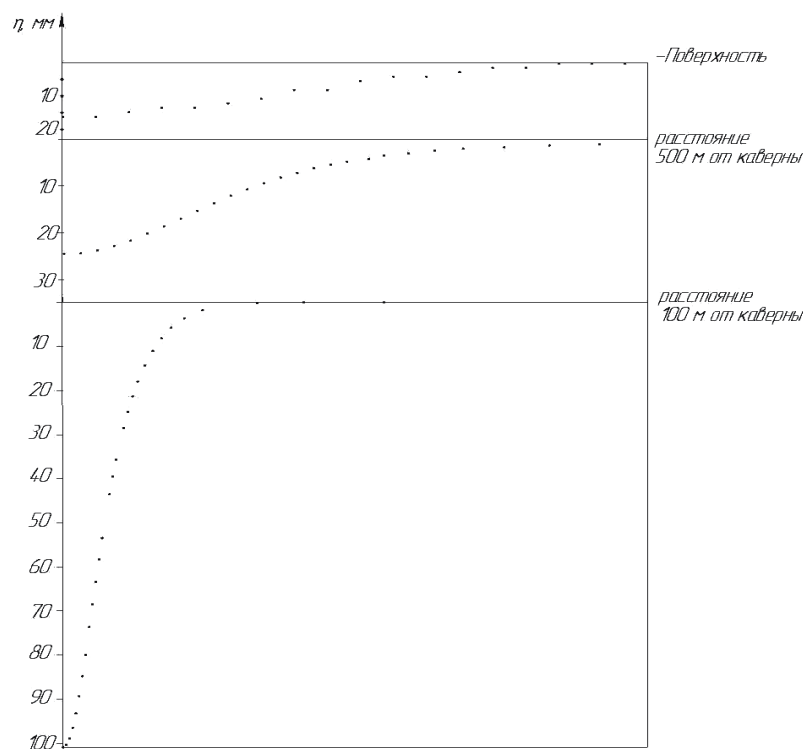


Рис. 7. Мульды оседаний на различных расстояниях от каверны

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что создание подземных хранилищ газа в соляной толще не оказывает влияния на земную поверхность и является вполне обоснованным шагом по освоению подземного пространства.

Список литературы

1. Турчанинов И. А. Основы механики горных пород / 3 авт. – М.: Недра, 1989. – 332 с.
2. Баклашов И. В. Геомеханика: в 2 томах. / 1 авт. – М.: Изд-во Москов. горного ун-та, 2004. – Т1. – 208 с. – Т2. – 249 с.
3. Петухов И. М. Геодинамика недр / 2 авт. – М.: Недра, 1996. – 217 с.
4. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера: практическое руководство / 3 авт. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
5. Басов К. А. ANSYS в примерах и задачах / К. А. Басов, под общ. ред. Д. Г. Красовского. – М.: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.

Получено 04.12.06.