

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ПОДРАБОТКИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ НА СОСТОЯНИЕ ВОДОЗАЩИТНОЙ ТОЛЩИ

А.Ю. Шумихина

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация: В работе приводится геомеханическая оценка потенциальной опасности нарушения герметичности затампонированной скважины. Математическое моделирование проводилось в двухмерной постановке методом конечных элементов и отражало установленные по геофизическим исследованиям особенности ее геологического строения. Связь между деформациями и напряжениями на допредельной стадии описывалась законом Гука, а предельные напряжения в области сжатия определялись критерием Кулона-Мора. Анализ нарушения сплошности слоев ВЗТ в области действия растягивающих напряжений основывался на их превышении предела прочности соляных пород при растяжении. Для оценки потенциальной опасности нарушения герметичности затампонированной скважины выполнялся анализ распределения субвертикальных касательных напряжений в породном массиве. В качестве прочностных характеристик использовалась прочность сцепления на сдвиг цементного камня с каменной солью.

Ключевые слова: математическое моделирование, метод конечных элементов, геологическая скважина, нарушение герметичности, сцепление цементного камня с солями, критерий прочности, упруго-пластические деформации, соляные породы.

Как показывает горная практика, геологоразведочные скважины могут являться каналами проникновения воды и рассолов в выработанное пространство калийных рудников. Поэтому нормативные документы предписывают создание охранных целиков вокруг геологических скважин. Вместе с тем иногда возникают ситуации, когда по тем или иным причинам предохранительный целик вокруг скважины не оставлен. В этом случае данный участок относится к потенциально опасным и требует оценки соблюдения безопасных условий подработки водозащитной толщи (ВЗТ).

В данной работе проведена геомеханическая оценка потенциальной опасности нарушения герметичности затампонированной скважины, расположенной вблизи границы шахтного поля калийного рудника. На данном участке два сильвинитовых пласта – АБ и КрП. Оценка и прогноз состояния ВЗТ в районе скважины проводились по широтному разрезу.

Математическое моделирование, направленное на оценку безопасных условий подработки ВЗТ в окрестности геологической скважины, проводилось в упругопластической постановке для условий плоского деформированного состояния (ПДС) методом конечных элементов и отражало установленные по геофизическим исследованиям особенности ее геологического строения. Рассматривалась идеальная упругопластическая среда, для которой связь между деформациями и напряжениями на допредельной стадии описывается законом Гука, а предельные напряжения в области сжатия определяются параболической огибающей кругов Мора [1]:

$$\tau_{np} = \sqrt{(\sigma_p + \sigma_n)[2 \cdot \sigma_p - 2 \sqrt{\sigma_p(\sigma_p + \sigma_{сж})} + \sigma_{сж}]}, \quad (1)$$

где $\sigma_{сж}$ и σ_p – пределы прочности на сжатие и растяжение, σ_n – нормальное напряжение в плоскости действия максимального касательного напряжения τ_{max} .

Напряжения τ_{max} и σ_n вычисляются через значения главных напряжений:

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \quad \sigma_n = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2 \quad (2)$$

где σ_1 и σ_3 – максимальные и минимальные главные напряжения. Для условий ПДС главные напряжения определяются по формулам:

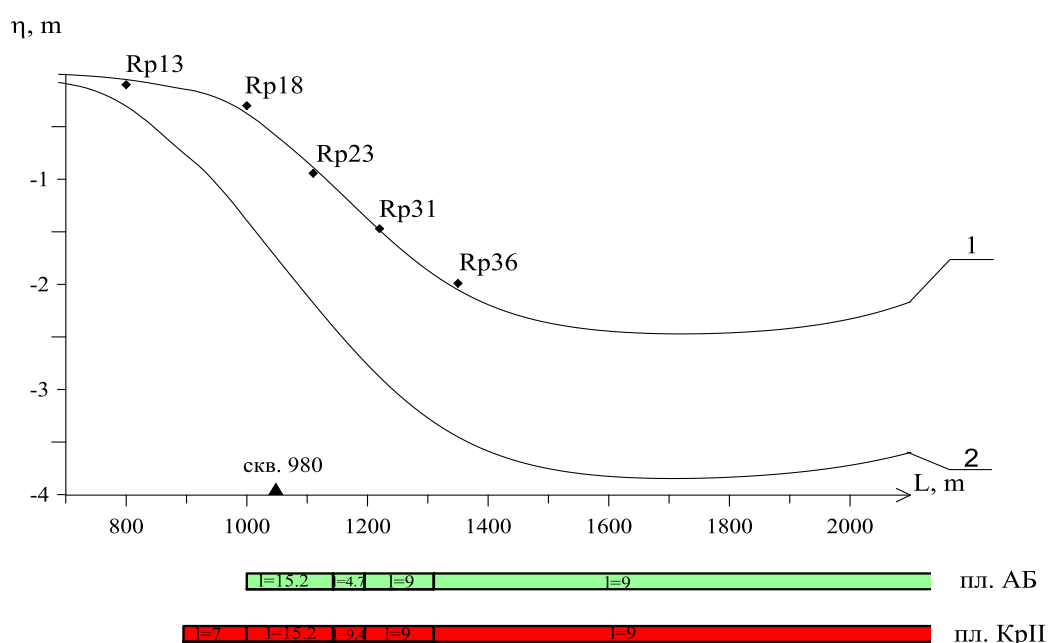
$$\sigma_1, \sigma_3 = \frac{1}{2} \left[(\sigma_x + \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2} \right] \quad (3)$$

В области растяжения предельное напряжение ограничивалось пределом прочности на растяжение:

$$\sigma_1 = \sigma_{\text{расп}}$$

Для описания развития во времени деформационных процессов в подработанном массиве использовался реологический подход, основанный на модификации известного метода переменных модулей [2].

На рис. 1. приведены расчетные оседания земной поверхности вдоль геомеханического профиля на настоящий момент времени (2019 год) и на момент завершения процесса сдвижения. Как видно из рисунка, наибольший градиент оседаний приурочен к району скважины.



|l=9| - участки выработанного пространства с различными параметрами (l - межсоевое расстояние)

Rp31 - номер репера маркшейдерской линии №5

Рис. 1. Расчетные оседания земной поверхности: 1 – на 2019 г; 2 – на конец процесса сдвижения

Результаты геомеханической оценки техногенного нарушения сплошности ВЗТ на 2019 год и на конец процесса сдвижения представлены на рис. 2. Здесь одновременно иллюстрируется формирование в ВЗТ зон трещиноватости за счет сдвига и растяжения. По мере развития процесса сдвижения в районе скважины формирование зон техногенной трещиноватости не прогнозируется.

Для оценки потенциальной опасности нарушения герметичности затампонированной скважины выполнялся анализ распределения субвертикальных касательных напряжений в породном массиве. На рис. 3 показано изменение касательных напряжений вдоль ствола скважины. Как видно, максимальные касательные напряжения в интервале соляной толщи не превышают 0,8 МПа. Средняя величина сцепления цементного камня с солями по данным [3] составляет 2 МПа, что свидетельствует об обеспечении сохранности герметичности скважины.

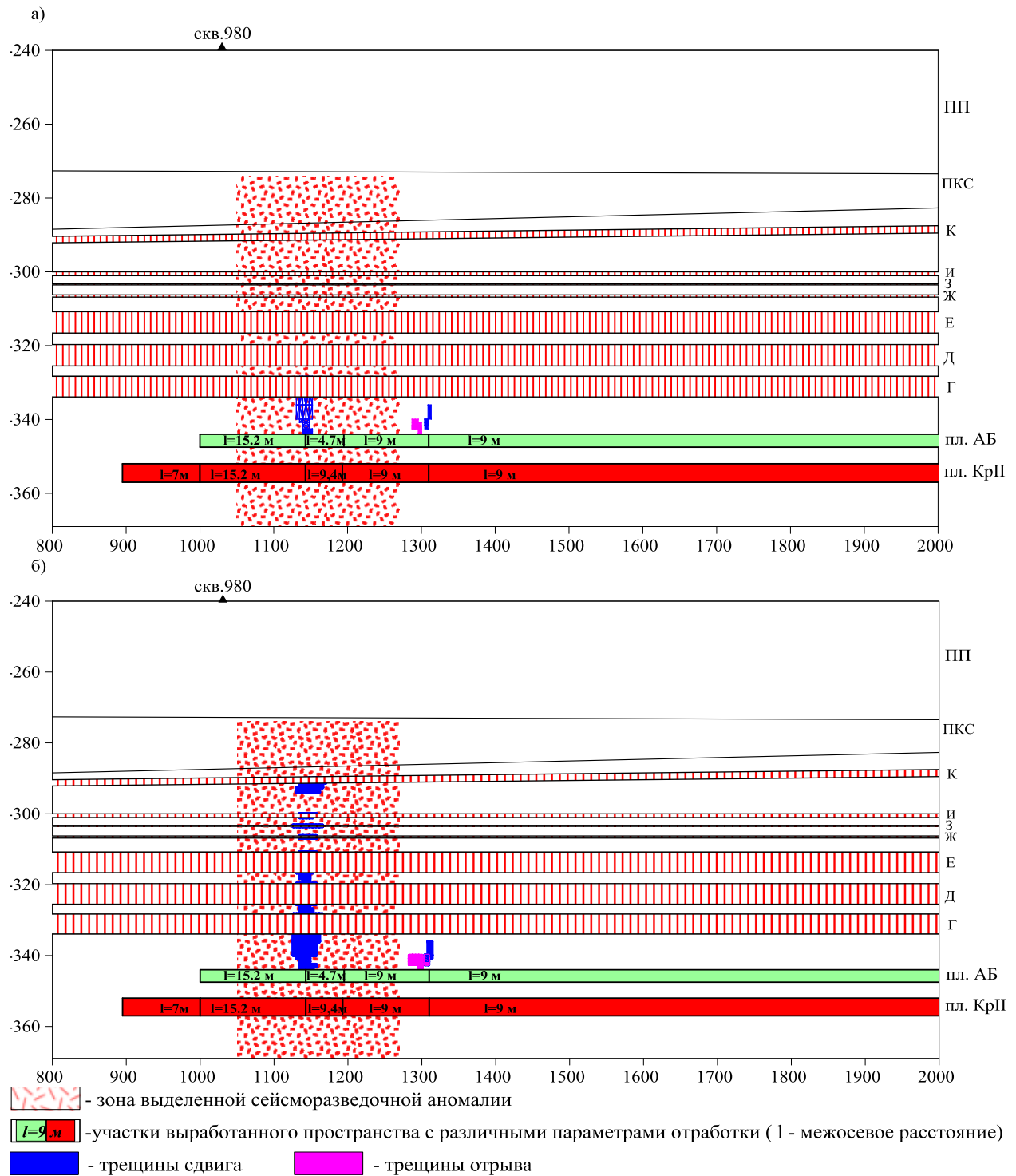


Рис. 2. Характер техногенного нарушения сплошности ВЗТ на: а) 2019 г; б) на конец процесса сдвижения

Количественная оценка условий разрушения соляных пород вследствие сдвига производилась по критерию Кулона, представленному в безразмерном виде:

$$R = \frac{\tau_{\max}}{\tau_{np}} \geq 1$$

Напряжение τ_{\max} определялось выражением (2).

$$\tau_{np} = C + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi$$

где C – коэффициент сцепления, φ – угол внутреннего трения, σ – нормальное напряжение в плоскости действия τ_{\max} определяется выражением (2).

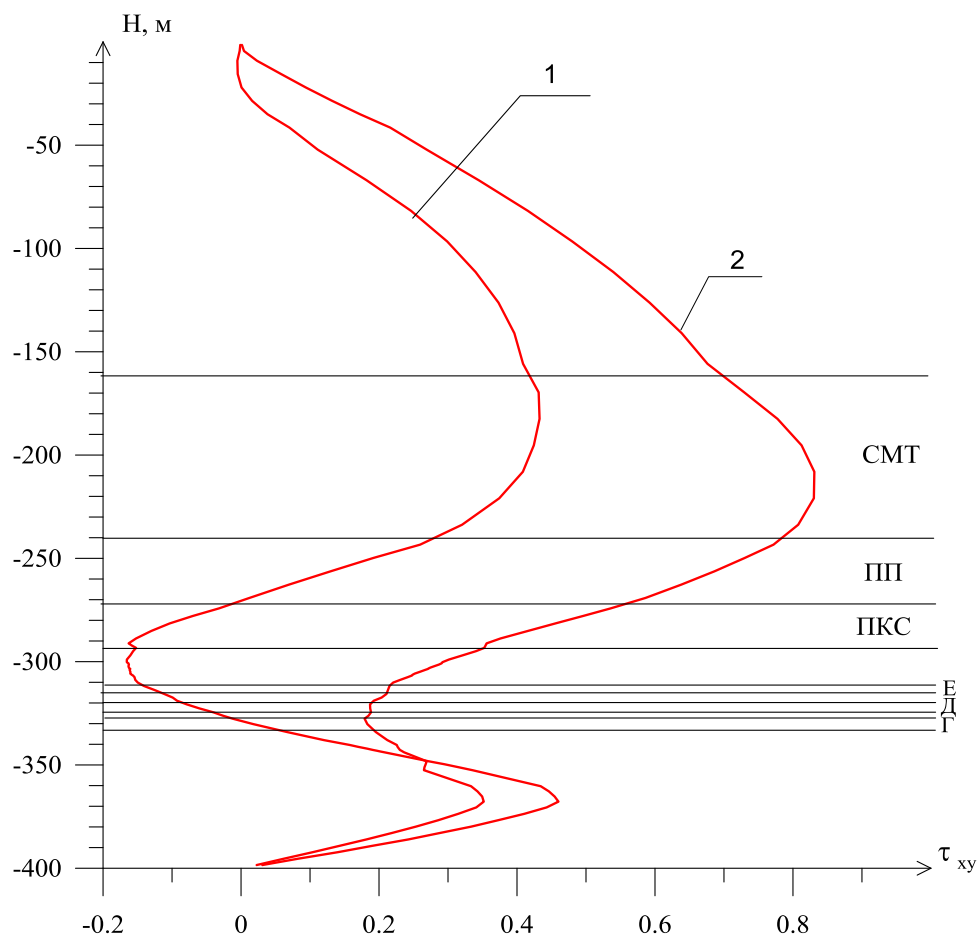


Рис. 3. Распределение сдвиговых напряжений по разрезу вдоль скважины:
1 – на 2019 г; 2 – на конец процесса сдвижения

В качестве прочностных характеристик (прочность сцепления на сдвиг цементного камня с каменной солью) соляных пород использовались средние величины, рекомендованные в работах [3, 4]. Считалось, что опасность развития зон техногенной трещиноватости отсутствует при величине безразмерного параметра $R < 1$.

Результаты критериальных оценок состояния ВЗТ показали, что вдоль скважины зон, где величина параметра R приближается к 1, не выделяется. Таким образом, геомеханическая оценка состояния ВЗТ показала, что на данном этапе в пределах геологической скважины безопасные условия подработки обеспечиваются вплоть до завершения процесса сдвижения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат. – 1947. – 180 с.
2. Барях А.А., Самodelкина Н.А. Об одном подходе к реологическому анализу геомеханических процессов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2005. – №6. – С. 32-41.
3. Толкачев Г.М., Шилов А.М., Козлов А.С., Болотов В.П. Расширяющийся тампонажный материал для крепления кондукторов в скважинах на территории ВКМКС // Вестн. ПГТУ: Нефть и газ. – 2000. – Т. 2, № 4. – С. 80-83.
4. Толкачев Г.М., Козлов А.С. Технологии и опыт строительства скважин для решения задач комплексного освоения калийных и нефтяных месторождений // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 12. – С. 29-32.