

УДК 622.831

А.А. Барях, Н.А. Самоделкина

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНЫХ КРИТЕРИЕВ НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ПОДРАБОТАННЫХ ТОЛЩ

На основе математического моделирования установлены основные особенности нарушения сплошности подработанных водозащитных толщ, выявленные закономерности положены в основу инженерного критерия обеспечения безопасных условий подработки.

Ключевые слова: математическое моделирование, разрушение, трещины, напряженно-деформированное состояние.

Основная особенность разработки калийных и соляных месторождений связана с необходимостью защиты рудников от затопления. В этой связи охраным целиком является водозащитная толща (ВЗТ), которая представляет собой безводную и водонепроницаемую часть геологического разреза, расположенную между кровлей верхнего отрабатываемого пласта калийно-магниевых солей и кровлей верхнего пласта каменной соли (рис. 1).

Геомеханические исследования выполнялись применительно к характерному для условий Верхнекамского месторождения геологическому разрезу без учета аномальных особенностей строения ВЗТ.

В процессе деформирования ВЗТ может происходить нарушение ее сплошности вследствие образования трещин различной ориентации и расслоения по контактам слоев и прослоев. Наибольшую опасность представляют субвертикальные трещины: если зона субвертикальной трещиноватости охватывает всю мощность ВЗТ, то формируется канал для проникновения надсолевых пресных вод

в выработанное пространство рудника, что неминуемо ведет к его затоплению и гибели.

Интенсивность техногенного воздействия горных работ на ВЗТ непосредственно связана с характером деформирования подработанного массива, которое наиболее обоснованно отражается в параметрах мульды сдвижения. Это обусловлено, в первую очередь тем, что только процесс сдвижения земной поверхности контролируется представительными прямыми инструментальными измерениями. В этой связи при математическом моделировании изменение состояния ВЗТ характеризовалось параметрами мульды сдвижения: длиной ее краевой части (L), нормированной на глубину горных работ (H), и максимальными оседаниями земной поверхности в зоне полной подработки (η_{\max}).

Отрабатываемые пласты моделировались изотропным материалом с переменными модулями деформации, значение которых определялось параметрами системы отработки и обеспечивало заданную величину оседания земной поверхности в зоне

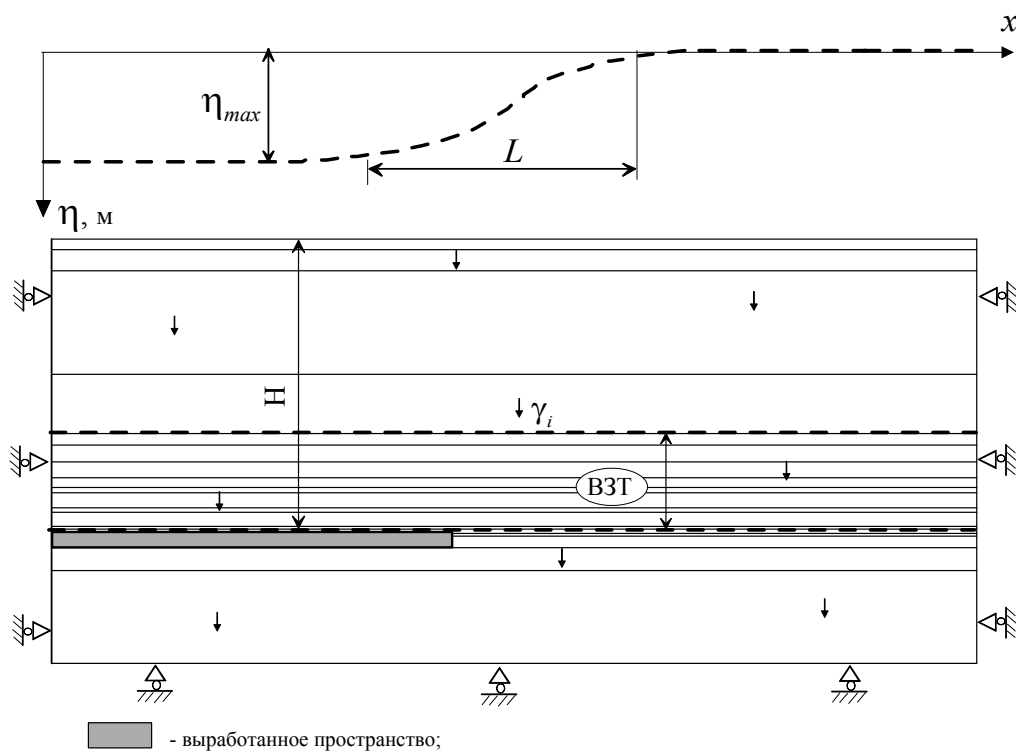


Рис. 1. Расчетная схема и муфта сдвига

полной подработки (η_{max}) для каждого рабочего пласта [1].

Математическое моделирование процессов деформирования и разрушения ВЗТ проводилось в упругопластической постановке для условий плоского деформированного состояния [2]. Рассматривалась идеальная упругопластическая среда, для которой связь между деформациями и напряжениями на допредельной стадии описывалась законом Гука, а предельные напряжения в области сжатия определялись критерием Кулона-Мора, представленным в виде параболической огибающей кругов Мора, в области растяжения предельное напряжение ограничивалось пределом прочности на растяжение.

Численное решение задачи выполнялось по стандартной схеме метода

конечных элементов [3]. Реализация упруго-пластической задачи осуществлялась методом начальных напряжений [4].

Локализация пластических деформаций в физическом смысле трактовалась, как разрушение пород ВЗТ: в области сжатия вследствие развития трещин сдвига, в области растяжения – трещин отрыва. Исходя из этих позиций, и производился анализ опасности нарушения сплошности ВЗТ под воздействием горных работ (рис. 2).

С ростом оседаний земной поверхности в краевой части ВЗТ отмечается образование зоны субвертикальных трещин сдвига, которая распространяется от выработанного пространства вверх по разрезу ВЗТ.

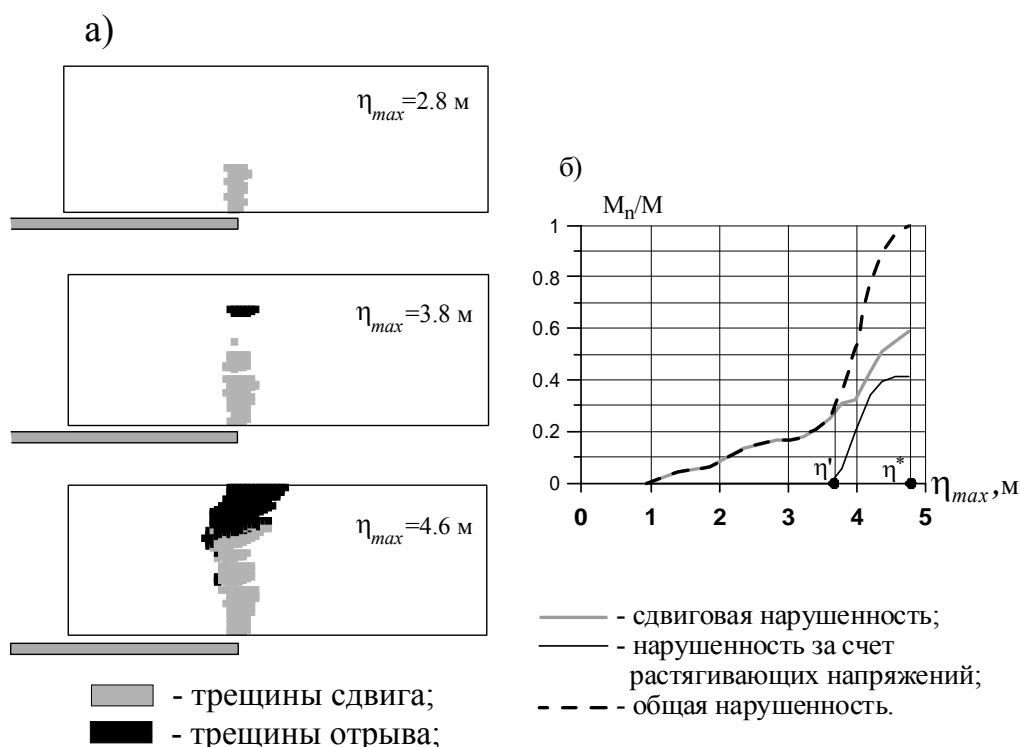


Рис. 2. Динамика нарушения сплошности (а) и изменение суммарной относительной мощности нарушенных пластов каменной соли ВЗТ (б) при $L/H=\text{const}$ в зависимости от максимальных оседаний земной поверхности (M_n - суммарная мощность нарушенных пластов каменной соли, M - общая суммарная мощность пластов каменной соли в разрезе ВЗТ)

Растягивающие напряжения появляются в кровле ВЗТ только при значительных оседаниях земной поверхности.

Изменение напряженного состояния ВЗТ в зависимости от длины краевой части мульды сдвижения при постоянных максимальных оседаниях земной поверхности показано на рис. 3, как видно, длина краевой части мульды сдвижения является важным показателем, определяющим опасность нарушения сплошности ВЗТ. При очень пологих мульдах сдвижения разрушение пластов каменной соли реализуется только при очень значительных оседаниях земной поверхности, практически нереальных

для горной практики Верхнекамского месторождения.

Начальная стадия разрушения подработанного соляного массива происходит вследствие образования трещин сдвига в краевой части выработанного пространства и имеет продолжительный характер развития, а завершающая - связана с образованием в верхней части ВЗТ трещин отрыва (оседание η' на рис. 2, б), наличие которых и обуславливает быструю и полную потерю ее устойчивости.

Анализ влияния глубины отработки на условия разрушения ВЗТ показывает (рис. 4), что с ее увеличением

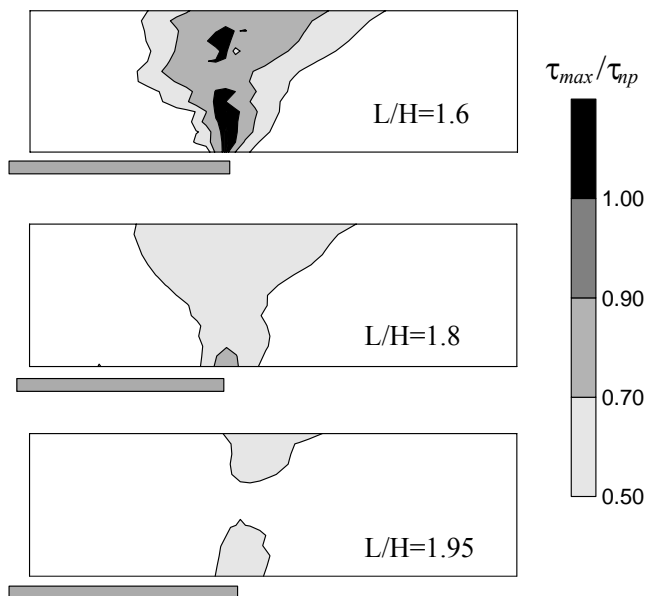


Рис. 3. Распределение нормированных касательных напряжений (τ_{max} / τ_{np}) по разрезу краевой части ВЗТ при $\eta_{max} = const$

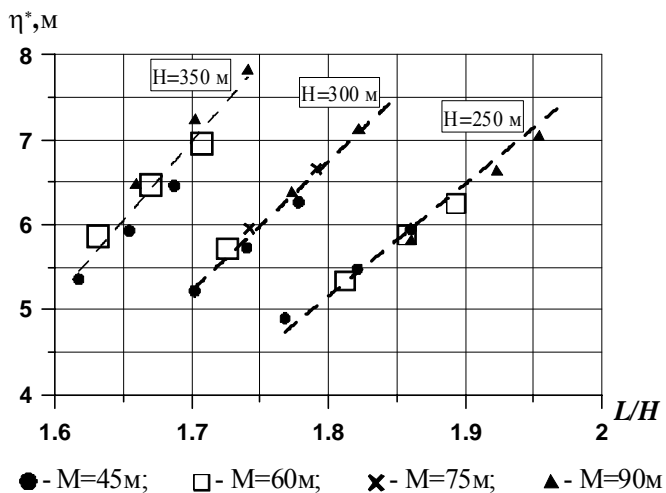


Рис. 4. Изменение критической величины оседаний земной поверхности η^* при различных глубинах отработки H и мощностях пластов каменной соли M в разрезе ВЗТ

критическая величина оседания земной поверхности η^* , при которой происходит полное разрушение пластов ВЗТ, повышается. Вместе с тем, при прочих равных условиях значимое влияние мощности ВЗТ на количественные характеристики нарушения ее сплошности не выявлено.

Это объясняется инверсионным характером разрушения ВЗТ: зона трещин сдвига развивается от выработанного пространства снизу вверх по разрезу ВЗТ, а сверху вниз от земной поверхности формируется область действия растягивающих напряжений. Другими словами, существует некая условная срединная линия, где при достижении критических прогибов сходятся нижняя и верхняя зона нарушения и ВЗТ полностью теряет свою устойчивость. Положение этой срединной линии определяется глубиной горных работ и практически не зависит от мощности ВЗТ.

Таким образом, в рамках построения инженерных критериев, нарушение сплошности ВЗТ может быть увязано с максимальными оседаниями, длиной краевой части мульды сдвижения и глубиной горных работ.

На рис. 5 по результатам математического моделирования построена номограмма, определяющая значение максимальных

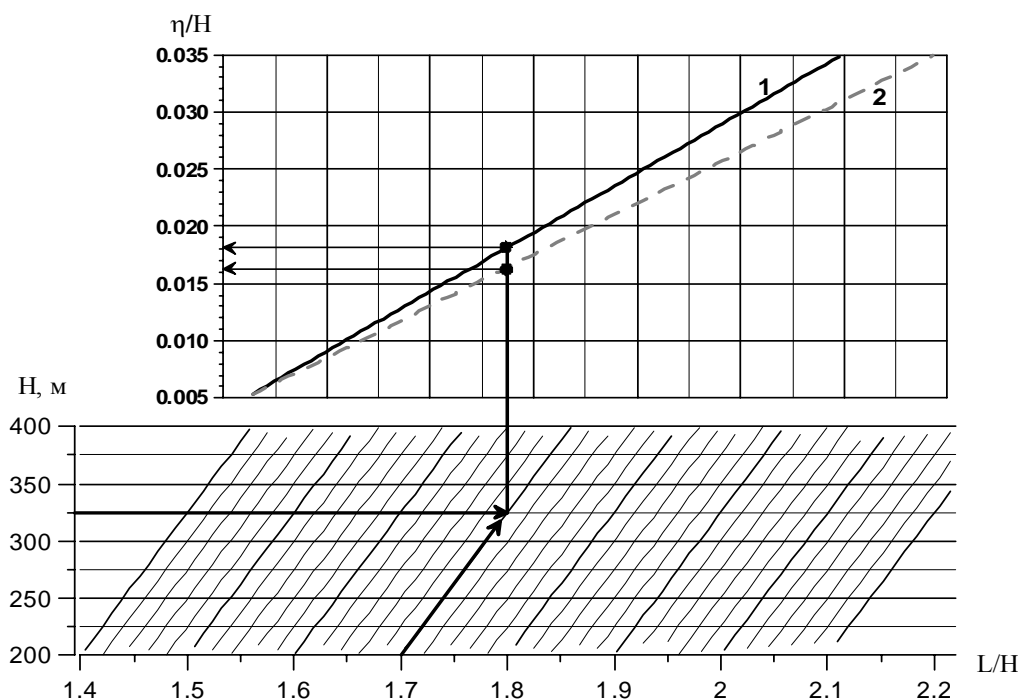


Рис. 5. Номограмма определения критических значений относительной величины оседаний

оседаний земной поверхности η^* , при котором происходит полное разрушение ВЗТ (прямая 1), и значения оседаний η' , соответствующих началу интенсивного разрушения ВЗТ (прямая 2), в зависимости от глубины

разработки и относительной длины краевой части мульды сдвижения.

Данная номограмма рекомендуется к использованию для оценки безопасных условий подработки ВЗТ при проектировании и разработке планов горных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Об одном подходе к реологическому анализу геомеханических процессов // ФТПРПИ.- 2005.-№6.
2. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Мир, 1975.
4. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. **ГИАС**

Коротко об авторах

Барях Александр Абрамович – доктор технических наук, профессор, директор ГИ УрО РАН, bar@Mi-Perm.ru

Самоделкина Надежда Анатольевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник ГИ УрО РАН (г.Пермь), samodelkina@mi-perm.ru