

УДК 622.834(574.3)

**Изучение процесса сдвижения горных пород методом моделирования на примере разработки наклонных залежей Жезказганского месторождения**

*А.К. КОЖАС, к.т.н., доцент,*

*А.Т. КАСИМОВ, к.т.н., доцент,*

*Ю.Н. ПЧЕЛЬНИКОВА, ст. преподаватель,*

*С.А. КАЛАЧЕВА, ст. преподаватель,*

*А.Т. МУХАМЕДЖАНОВА, ассистент,*

*Карагандинский государственный технический университет, кафедра ТиОСП*

*Ключевые слова:* сдвижение горных пород; горно-геологические условия, эквивалентный материал; модель, напряженно-деформированный массив; кривые линии скольжения второго семейства; барьерные целики; без-целиковая отработка панелей; предельные своды.

Угол наклона Анненского, Акчий-Спасского районов Жезказганского месторождения приблизительно составляет 15-35°. Районы отличаются сложными горно-геологическими условиями: высокой трещиноватостью и влагоемкостью, имеет место неоднократное перекрытие залежей.

Для изучения процесса сдвижения в условиях наклонных залежей была изготовлена модель в масштабе 1:200. Воссоздаваемые горно-геологические условия в модели приняты аналогичными условиям Анненского и Акчий-Спасского районов Жезказганского месторождения. Размеры модели по наружным замерам следующие: высота – 165 см (330 м), ширина – 36 см (72 м), длина 295,5 см (участок геологического

разреза длиной 591 м). Высота засыпаемых горных пород – 128 см (мощность массива горных пород). Ширина и длина модели по внутренним замерам: 28 см (56 м) и 283,5 см (567 м) соответственно.

В модели в качестве эквивалентного материала [1], удовлетворяющего поставленным условиям подобия, применен песок с диаметром зерен 0,1-0,3 см. В модели песок был заложен в промьтом и высушенном виде. По известным методам [2] определяется угол естественного откоса эквивалентного материала, который принимают как угол внутреннего трения  $\rho$ . В нашем случае  $\rho = 34^\circ$ . В качестве цементирующего вяжущего для придания материалу необходимой прочности был использован парафин.

На рисунке 1 показан общий вид модели.

Толща состоит из следующих слоев горных пород: залежи мощностью  $h_3 = 9$  см (18 м);

первого слоя алевролита мощностью  $h^1_k = 4.9$  см (9,8 м);

первого слоя серого песчаника мощностью  $h^1_c = 12.6$  см (25,2 м);

второго слоя алевролита мощностью  $h^2_k = 7.9$  см (15,8 м);

второго слоя серого песчаника мощностью  $h^2_c = 4.25$  см (8,5);

остальную часть до земной поверхности составляют алевролиты;

глубина разработки залежи  $H$  в пределах – 124-10 см (248 – 20 м);

угол наклона залежи  $\alpha = 23^\circ$ .

В рассматриваемой модели залежь разделяется на панели барьерными целиками, а сами панели обрабатываются без оставления междукамерных целиков, вместо которых применяют искусственные опоры. Барьерный целик располагается вертикально, а искусственные опоры нормально по направлению к залежи. Сетка расположения искусственных опор составляет 5x5 см (10x10 м). Ширина панелей до оси барьерного целика составляет 75 см (150 м).

В модели для изучения характера сдвижения и определения величин оседания земной поверхности на предполагаемой поверхности земли в продольном направлении по профильной линии устанавливались репера. Расстояние между реперами принималось 10 см (20 м), что соответствует расстоянию между реперами в натуральных условиях. Для дополнительного наблюдения за картиной сдвижения горных пород были установлены 7 высоких объектов (сооружений) через каждые 30 см (90 м) по длине модели (рисунок 1). Подобными сооружениями в натуре могут быть

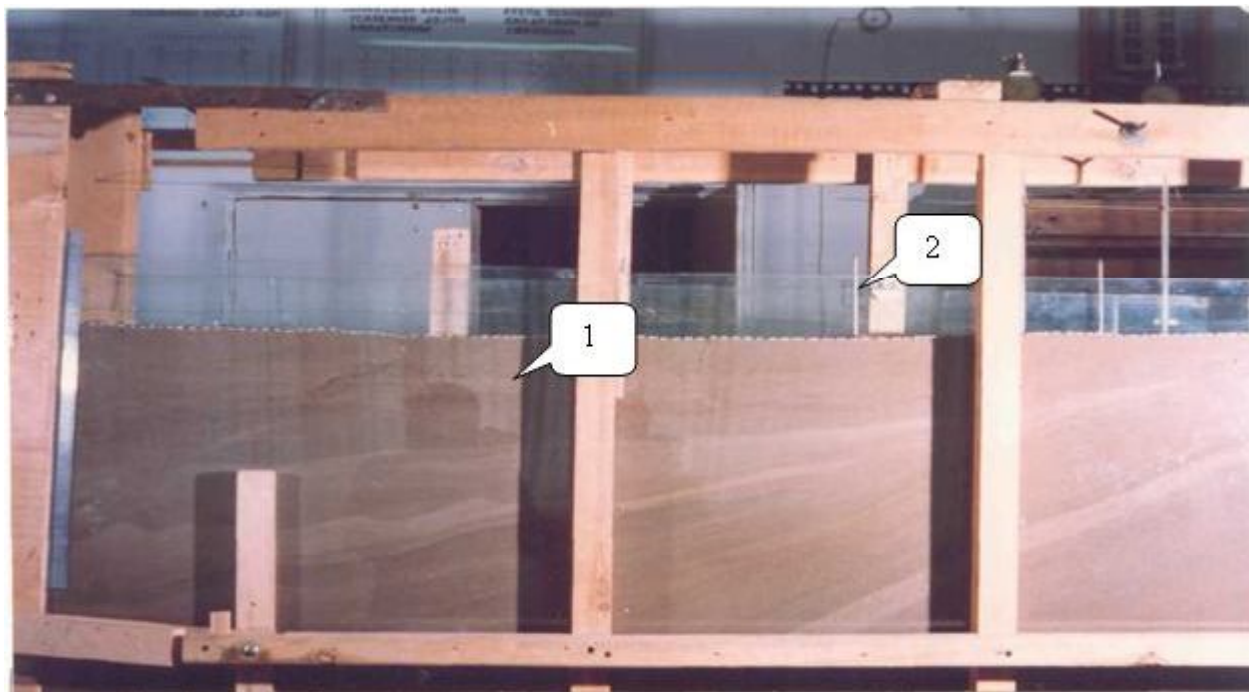
дымовые трубы, башенные копры, телевышки.

В продольном направлении модели с наружной поверхности стекла были предварительно нанесены кривые линии скольжения 2-го семейства  $x_2$  (рисунок 2), ограничивающие предполагаемую зону опасных сдвижений и деформаций XQ и KR [3]. С крайних точек А и В, Д и К – границ очистных панелей, на поверхности стекла строят предельные своды  $AM_1T_0M_2B$  и  $ДС_1T_0C_2K$  (рисунок 2).

После отработки 2/3 части панели породы непосредственной кровли, расположенные у барьерного целика (БЦ1), под влиянием статических сил срезались под углом  $\varphi$  и обрушились в выработанное пространство, при этом высота разрыхленных пород составила 4,9 см (рисунок 3). В связи с формированием у боковой поверхности первого слоя алевролита потенциальных поверхностей скольжения с углом отклонения  $\omega = 90^\circ + \varphi$  от вертикальной нагрузки, действующей от веса вышележащих горных пород, обозначаются контуры объемов, обрушаемых в выработанное пространство. После полной отработки 1 панели первый слой алевролита обрушился, отделившись от вышележащего первого слоя песчаника по площади напластования. Высота очистного пространства составила 14,5 см.

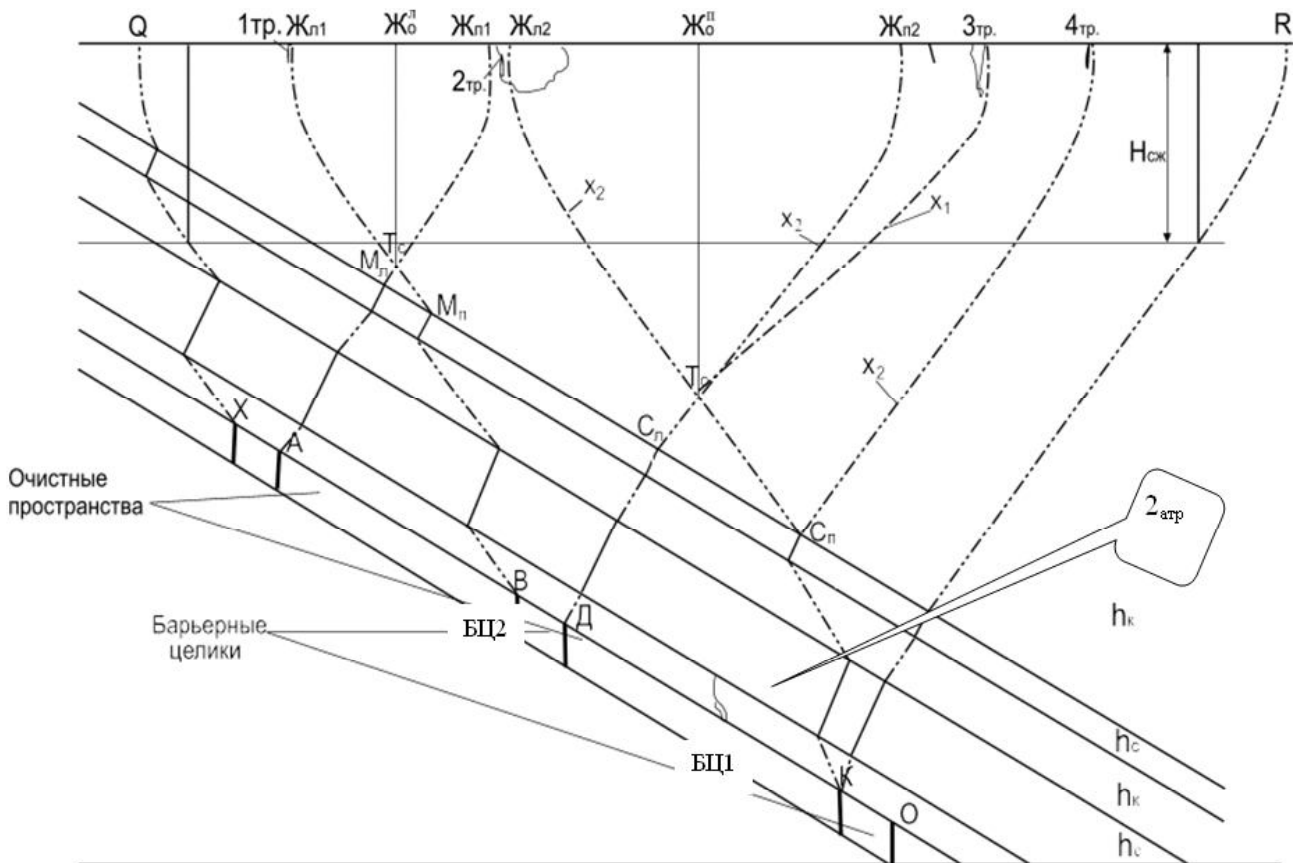
В целях наблюдения за процессом сдвижения горных пород над выработанным пространством целый месяц не велись очистные работы.

Вследствие действия гравитационных сил первый слой песчаника постепенно начал прогибаться в сторону выработанного пространства, а слой алевролита, расположенный над барьерным целиком, начал смещаться вниз. От действия вертикального напряжения, образуемого от веса налегающей толщи горных пород, и бокового давления на расстоянии от БЦ в 5 см образуется вертикальная трещина длиной 1,2-1 см.



1 – модель, 2 – объект

Рисунок 1 – Вид левой части модели



1<sub>тр.</sub>, 2<sub>тр.</sub>, 3<sub>тр.</sub>, 4<sub>тр.</sub> – вертикальные трещины на поверхности земли; 2<sub>атр.</sub> – трещина в пролете;  $x_2$  – кривые линии скольжения 2-го семейства;  $H_{сж}$  – глубина образования одноосного сжатия

Рисунок 2 – Формирование поверхностей скольжения в модели при разработке наклонных залежей



Рисунок 3 – Формирование угла обрушения  $\varphi$  и угла  $\omega$

Проведены очистные работы и во второй панели. В первом слое песчаника от левой верхней границы внутренней стороны БЦ по линии его напластования образовалась горизонтальная трещина длиной в 30 см, шириной раскрытия 0,3-0,01. В 19,5 см, влево от первой вертикальной трещины, образовалась вторая вертикальная трещина – длиной в 3,1 см, шириной раскрытия 0,2 см (рисунок 2 (2<sub>атр.</sub>)). Эти вертикальные трещины ограничиваются горизонтальными трещинами, шириной раскрытия соответственно 0,3-0,4 см и 0,5 см.

В результате отработки второй панели, высота предельного прогиба первого слоя песчаника во второй панели составила 6,7 см (рисунок 4 а, б). При

этом, центр тяжести места максимального прогиба пришелся на 6-7 см ниже от середины панели (на расстоянии 24,5 см от первого барьерного целика БЦ 1 и 55,5 см – от второго барьерного целика БЦ 2).

Объем  $J_{л1}T_0J_{л1}$ , ограничиваемый кривыми 2-го семейства, начнет смещаться вниз при потере устойчивости кровли первой панели, это подтверждается появлением первой вертикальной трещины с шириной раскрытия 1,5-2 см, отстоящей от точки  $J_{л1}$  на 1 см влево (рисунок 2).

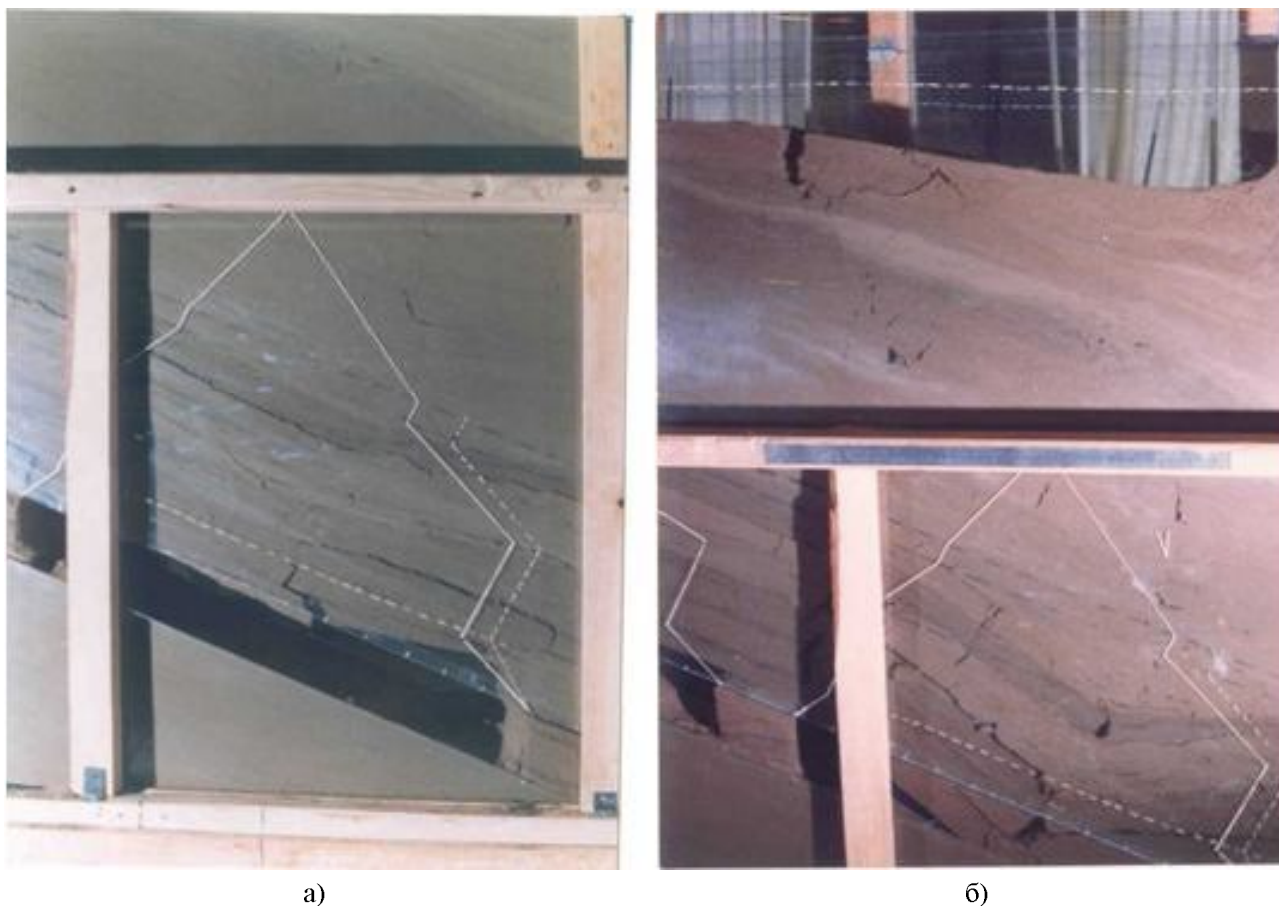
Появившаяся вторая трещина, шириной раскрытия 2,5-3 см, сформировалась между поверхностями скольжения  $T_0J_{л1}$  и  $J_{л2}T_0$ , формируемых кривыми 2-го семейства (рисунок 2).

Если провести от сформированной третьей трещины кривую 1-го семейства, то ее отклонение от вершины  $T_0$  (построенной заранее кривыми линиями скольжения  $x_2$ ) свода  $ДС_{л1}T_0C_{л1}K$  составило 2,5-3 см.

Четвертая трещина, шириной раскрытия 0,3-0,4 см (0,6-0,8 м) совпадает с направлением кривой  $x_2$ , проходящей через точку  $C_{л1}$  свода  $ДС_{л1}T_0C_{л1}K$  (рисунок 2).

Следует отметить, что формирование зоны трещин не выходит за пределы предполагаемых ее границ Q и R.

По результатам наблюдений была составлена ведомость оседаний земной поверхности по реперам 1-27 модели. Максимальное оседание земной поверхности (глубина провала) составила 14,5 см (29 м) – репера № 15, 16.



а)

б)

а) до обрушения; б) после обрушения

Рисунок 4 – Формирование предельного прогиба в первом слое песчаника во второй панели

По данным натурных наблюдений построен график оседания земной поверхности при разработке наклонных залежей. Большие значения величин оседания земной поверхности  $\eta_m$  в моделях связаны, ввиду применения бесцеликовой технологии отработки, с большим объемом выработанного пространства (до 130 000 м<sup>3</sup>), параллельным ведением горных работ в обеих панелях.

Построение предполагаемых поверхностей скольжения и границ зон деформаций мульды сдвижения кривыми линиями скольжения 1-го и 2-го семейства подтверждается результатами лабораторных исследований. Полученные результаты могут быть использованы при разработке способов защиты по охране наземных коммуникаций, определении параметров мульды сдвижения [4-6].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сәбденбекұлы Ө., Қожас А.К., Тайшикова А.М. Подбор состава эквивалентных материалов в физической модели для исследования процесса деформирования массива горных пород в лабораторных условиях // Тр. междунар. науч.-практ. конф. «Инновационная роль науки в подготовке современных технических кадров». Вып. 2. Караганда, 2008. С. 410-412.
2. Кацауров Н. Н. Механика горных пород. М.: Недра, 1981. 161 с.
3. Сәбденбекұлы Ө. Таужыныстың жылжуының физикасы. Жезқазған, 1999. 192 б.
4. Пред. пат. № 17655 Республика Казахстан, Асты кеуленіп қазылған теміржолды қорғаудың тәсілі / Сәбденбекұлы Ө., Қожас А.К.; 11.06.2003 ж.
5. Сәбденбекұлы Ө., Қожас А.К. Защита железных дорог при их подработке // Тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы горно-металлургического комплекса Казахстана», посвященной 90-летию со дня рождения А.С. Сагинова. Караганда, 2005. С. 107-110.
6. Қожас А.К. Прогноз оседания земной поверхности на стадии проектирования подземной разработки. Научно-техническое обеспечение горного производства // Тр. / ИГД им. Д.А. Кунаева. Алматы, 2005. Т. 70. С. 37-43.