УДК 622.232.063.4:622.33.031.006.16

В.Н.ГУСЕВ, *д-р техн. наук, профессор, kmd@spmi.ru*
Д.А.ИЛЮХИН, *аспирант, kmd@spmi.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
А.Е.ЖУРАВЛЁВ, *главный маркшейдер, zhuravlev@vodokanalstroy.spb.ru*
ООО «СТиС», Санкт-Петербург

V.N.GUSEV, *Dr. in eng. sc., professor, kmd@spmi.ru*
D.A.ILUKHIN, *post-graduate student, kmd@spmi.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg
A.E.ZHURAVLEV, *head of mine surveying department, zhuravlev@vodokanalstroy.spb.ru*
Ltd «STIS», Saint Petersburg

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ НАРУШЕННОСТИ ПОДРАБАТЫВАЕМОЙ ТОЛЩИ ТЕХНОГЕННЫМИ ВОДОПРОВОДЯЩИМИ ТРЕЩИНАМИ ПО ДАННЫМ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ЯКОВЛЕВСКОГО РУДНИКА

По результатам геомеханического мониторинга в горных выработках Яковлевского рудника произведена оценка распространения зоны водопроводящих трещин вследствие сдвижений и деформаций горных пород от недозакладки выработанного пространства бетонной смесью. Рассмотрено приведение граничной кривизны и кривизны, полученной из наблюдений за сдвижением горных пород, к единому интервалу измерений.

Ключевые слова: наблюдательная станция, глубинные реперы, натурные наблюдения за сдвижением и деформациями, кривизна, интервал измерения, высота зоны водопроводящих трещин.

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF DISTURBANCE OF THE UNDERMINED STRATA BY TECHNOGENIC WATER CONDUCTING FRACTURES ACCORDING TO GEOMECHANICAL MONITORING IN THE EXCAVATIONS OF YAKOVLEVSKI MINE

According to the results of geomechanical monitoring in the excavations of Yakovlevski mine distribution of zone water conducting fractures in consequence of displacement and deformation of rocks from concrete backfilling voids evaluated. The convergence of the boundary curvature and the curvature obtained from observations of strata movement to a single span is taken into consideration.

Key words: observation station, the deep benchmarks, field observations of displacement and strain, curvature, span, height of water conducting fracture zones.

Гидрогеологические условия Яковлевского месторождения богатых железных руд характеризуются как сложные, в связи с наличием в разрезе пяти водоносных горизонтов. Водоносные горизонты келловейским водоупором, представленным глинами мощностью до 43 м (на рис.1 обозначен как водоупор), разделены на два гидравлически изолированных комплекса – надкелловейский и подкелловейский. Нижний водоносный комплекс (подкелловейский) представлен келловейским, каменноугольным

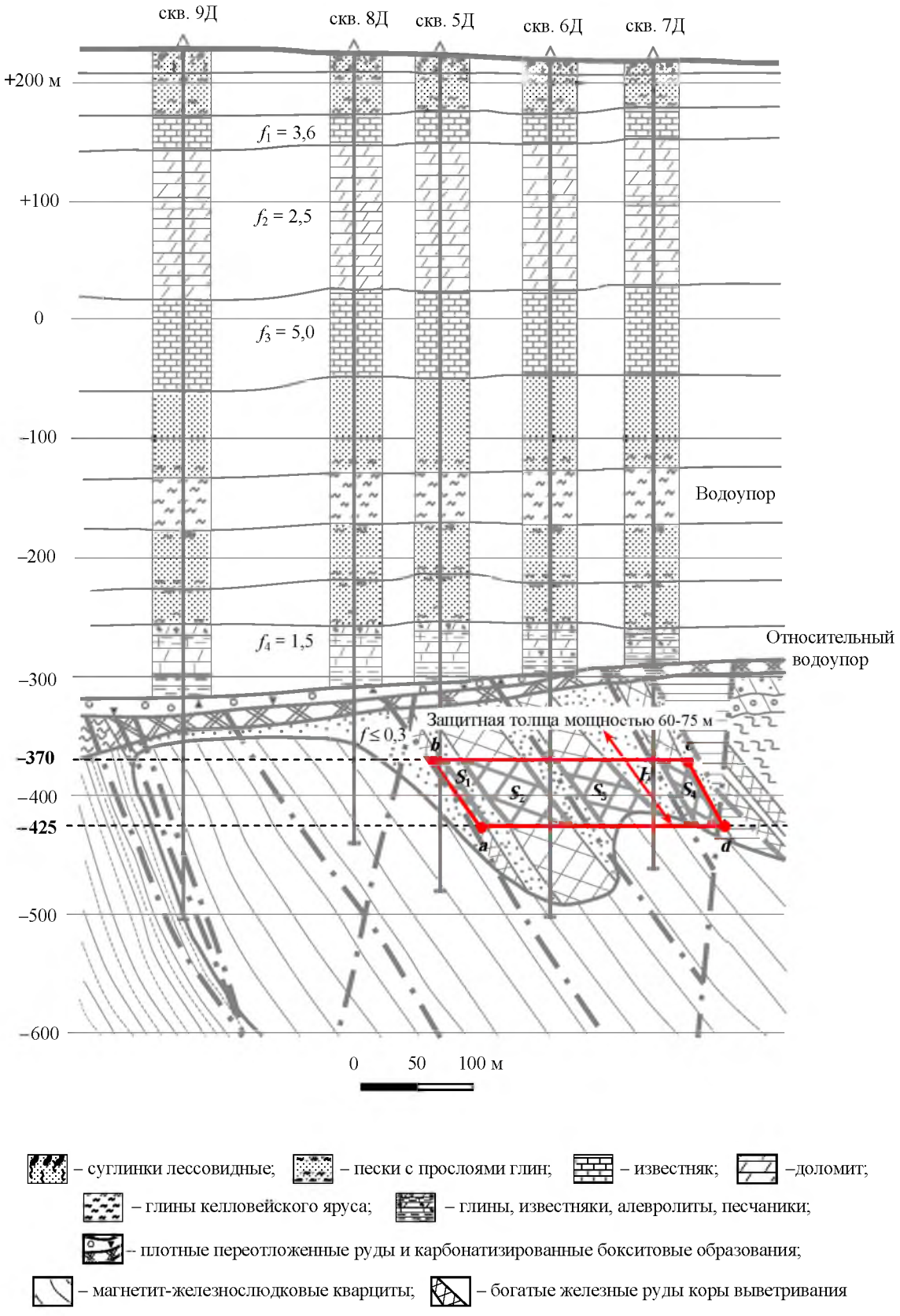


Рис.1. Геологический разрез по линии 29
a, b, c, d – контур отработки между гор. –370 м и гор. –425 м; S_1, S_2, S_3, S_4 – контуры богатых железных руд

(карбоновым) и рудно-кристаллическим водоносными горизонтами. Последний приурочен к верхней трещиноватой зоне кристаллического массива, к зонам разломов и рудному массиву.

Предполагается, что основное участие в обводнении горных выработок будут принимать гидравлически взаимосвязанные каменноугольный (карбоновый) и рудно-кристаллический водоносные горизонты. Важным является наличие глинистых отложений в подошве каменноугольных пород – плотных переотложенных руд и карбонатизированных бокситовых образований в кровле рудно-кристаллической толщи общей мощностью от 2 до 60 м, что затрудняет взаимосвязь (гидравлическую) между каменноугольными и рудно-кристаллическим водоносными горизонтами (на рис.1 это относительный водоупор). В этой связи важное значение приобретает предупреждение деформаций разделительной водоупорной толщи (относительный водоупор на рис.1) вследствие ведения очистных работ на Яковлевском руднике.

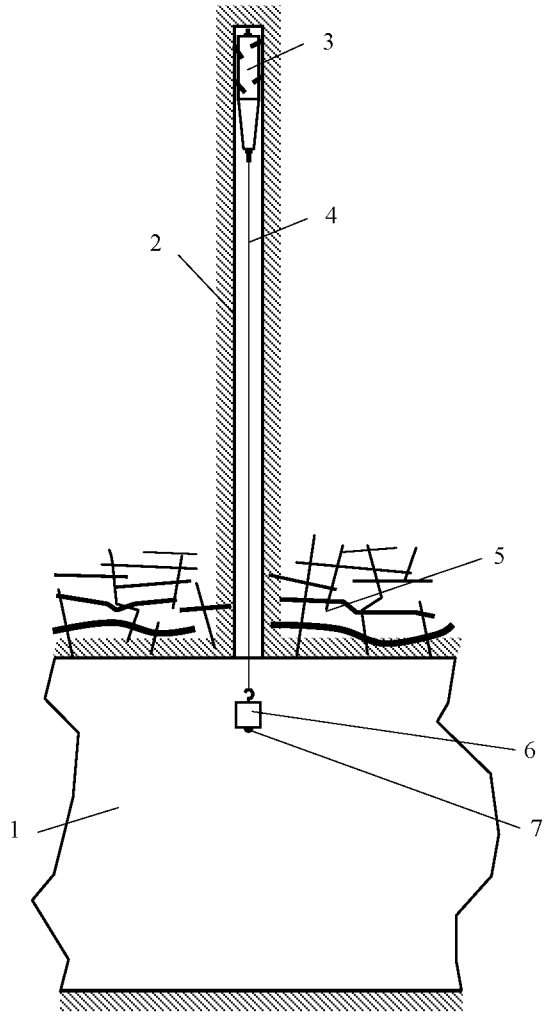


Рис.2. Скважина, оборудованная глубинным репером

1 – горная выработка; 2 – скважина; 3 – глубинный репер; 4 – проволочная связь с репером; 5 – груз; 6 – приваренная гайка для установки «пятки» рейки; 7 – зона отслоения кровли (мощность этой зоны около 4 м)

Мощность толщи, оставляемой как защитная между верхней границей очистных работ и каменноугольным водоносным горизонтом, принята 60-75 м, включая мощность глинистых пород относительного водоупора (рис.1). В долях от указанной защитной мощности (60-75 м) мощность относительного водоупора составит 0,28-0,38, или 28-38 %. Для расчетов принято содержание глинистых пород в долях от подрабатываемой толщи $A = 0{,}28$, т.е. минимальное значение из диапазона.

Прогноз развития зоны водопроводящих трещин (ЗВТ) в подрабатываемой толще осуществлялся на основе результатов натурных наблюдений за сдвижением и деформациями реперов наблюдательных станций, заложенных в горных выработках горизонта очистных работ Яковлевского рудника (гор. –370 м на рис.1).

Для контроля смещения массива горных пород, а не отслоений кровли, в кровле горной выработки бурили вертикальные скважины на глубину 9 м, из них 7 м – диаметром 105 мм и оставшиеся 2 м – диаметром 76 мм, перебуривая мощность зоны отслаивания пород, которая, по оценкам геолого-маркшейдерской службы Яковлевского рудника, составляет порядка 4 м.

В пробуренную скважину закладывался один глубинный репер с проволочной связью. После прикрепления к нижней части репера проволоки из нержавеющей стали диаметром 2,0 мм репер доставлялся буровым инструментом до забоя скважины. За счет устройства «ежа» в деревянном теле репера он надежно закреплялся в месте установки. К свободному концу проволоки подвешивали груз 8 кг. К нижней торцевой части груза приваривали гайку, грань которой исполь-

зовали для установки на нее пятки рейки во время производства измерений (рис.2).

Репер представляет собой деревянный цилиндр, в верхней части переходящий на конус. Внутри репера вдоль его продольной оси вставлена металлическая трубка диаметром 10-20 мм с фиксирующими шайбами на верхнем и нижнем торце деревянного тела репера (рис.3). В нижней части трубки репера просверлено сквозное отверстие диаметром 3-4 мм для соединения проволоки с репером. Для фиксации репера в скважине в его деревянном теле делается «еж»: сверлятся отверстия, в которые пропускаются проволоки от распущенного троса, как показано на рис.3. Диаметр деревянной части репера должен быть на 10-15 мм меньше диаметра скважины. На Яковлевском руднике в условия мехмастерских было налажено производство таких глубинных реперов.

Для доставки репера в требуемое место с помощью бурового инструмента предлагается изготовить досылочное устройство (досыльник), соединенное через переходник с буровым инструментом (рис.4). В месте вставки репера в досыльник просверливают отверстие, куда забивают гвоздь для удержания в досыльнике репера. После доставки репера на забой скважины обратным ходом бурового инструмента гвоздь досыльником выдергивается, а репер, если он нормально расклинился «ежом», остается в месте закладки. Для перепуска проволоки после установки глубинного репера в заданном месте скважины в нижней части досыльника (там, где устроен переходник) просверливается отверстие диаметром 4-5 мм (рис.4).

Подземная станция должна состоять как минимум из трех скважин, пробуренных в кровле выработки, в которых заложены глубинные реперы (рис.5). Три скважины – это то минимальное количество, по которому можно определить деформации кривизны по вертикальным смещениям глубинных реперов этих скважин. Таким образом, система из трех и более скважин позволяет получить информацию не только о смещениях кровли, но и о деформациях ее изгиба, что несомненно повышает степень информатив-

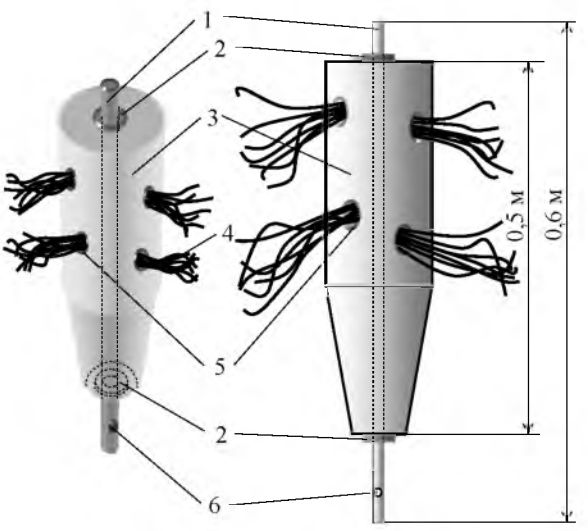


Рис.3. Конструкция глубинного репера

1 – металлическая трубка; 2 – упорная шайба (приваривается к металлической трубке); 3 – деревянное тело репера; 4 – проволока; 5 – отверстия для устройства «ежа»; 6 – отверстие для соединения проволоки с металлической трубкой

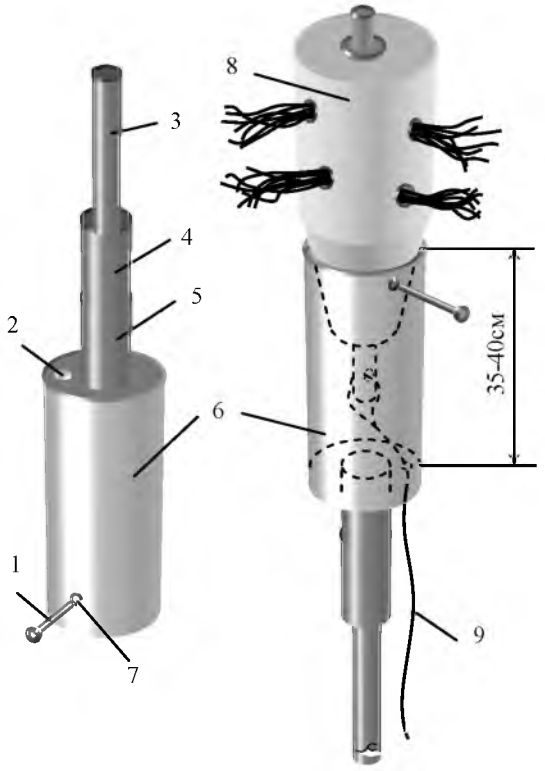


Рис.4. Досыльник реперов

1 – гвоздь для временного крепления глубинного репера с трубой досыльника; 2 – отверстие для перепуска проволоки после закладки глубинного репера; 3 – штанга; 4 – замок штанги; 5 – переходник к замку штанги; 6 – отрезок трубы, диаметр которой на 5-10 мм меньше диаметра скважины; 7 – отверстие для гвоздя; 8 – глубинный репер; 9 – проволока, соединенная с репером

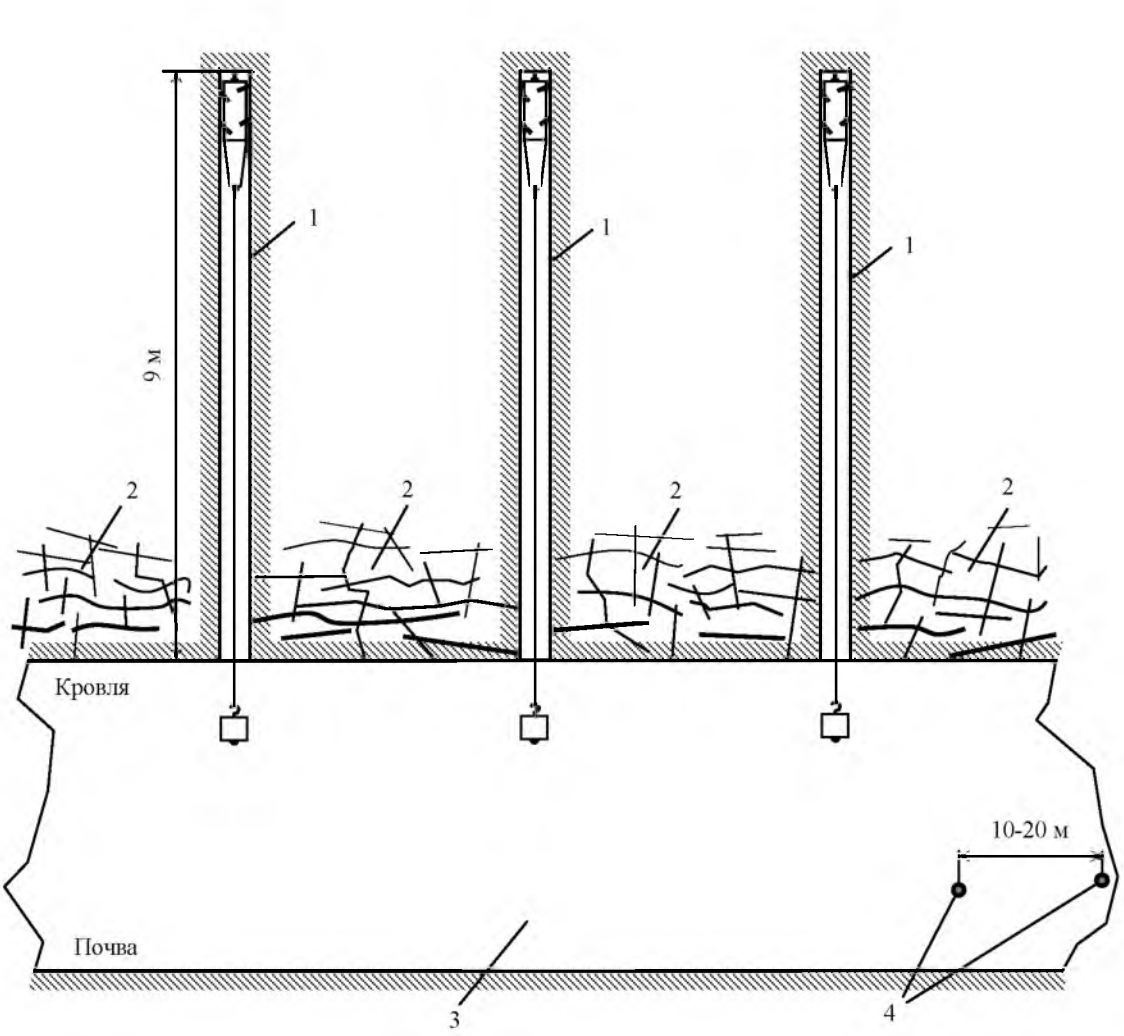


Рис.5. Локальная подземная наблюдательная станция

1 – скважина, оборудованная глубинным репером; 2 – зона отслоения кровли мощностью около 4 м; 3 – горная выработка; 4 – опорные реперы

ности. Расстояние между скважинами принимается до 100 м. Опорные реперы для локальных подземных станций следует оборудовать в боках выработки, не менее двух штук на расстоянии 10-20 м друг от друга. Перед каждой серией измерений необходимо контролировать их неподвижность путем определения превышения одного относительно другого.

На схеме (рис.6) точками 1, 2, 3 показано начальное положение глубинных реперов, имеющих высотные отметки по результатам нивелирования в начальной серии наблюдений соответственно $H_{0,1}$, $H_{0,2}$, $H_{0,3}$. В результате протекания процесса сдвижения глубинные реперы начнут смещаться. Проведя очередную серию наблюдений путем нивелирования, определяют их новое высотное положение на момент времени проведения этой серии наблюдений: H_1, H_2, H_3. По результатам этих серий наблюдений получают оседания, наклоны (первая производная от оседаний), кривизну (вторая производная от оседаний или первая производная от наклона) следующим образом:

• оседания (рис.6)

$$\eta_1 = H_1 - H_{0,1};$$
$$\eta_2 = H_2 - H_{0,2}; \quad (1)$$
$$\eta_3 = H_3 - H_{0,3};$$

• наклон (рис.6)

$$i_{1\text{-}2} = (\eta_2 - \eta_1) / l_{1\text{-}2};$$
$$i_{2\text{-}3} = (\eta_3 - \eta_2) / l_{2\text{-}3}, \quad (2)$$

где η_1, η_2, η_3 – оседания соответственно глубинных реперов, полученные из выражений (1); $l_{1\text{-}2}$ – интервал между скважинами с глубинными реперами 1 и 2; $l_{2\text{-}3}$ – интервал между скважинами с глубинными реперами 2 и 3;

• кривизна

$$K_2 = (i_{2\text{-}3} - i_{1\text{-}2}) / l_{\text{ср}}, \qquad (3)$$

где $i_{1\text{-}2}$ и $i_{2\text{-}3}$ – наклоны, определяемые из выражений (2) соответственно для интервалов $l_{1\text{-}2}$ и $l_{2\text{-}3}$; $l_{\text{ср}} = (l_{1\text{-}2} + l_{2\text{-}3}) / 2$ – среднее из двух соседних интервалов.

Кривизна характеризует степень изгиба в точке (точка 2 на рис.6), являющейся общей для двух соседних интервалов с известными наклонами, в нашем случае это интервалы $l_{1\text{-}2}$ и $l_{2\text{-}3}$. Таким образом, соблюдая принцип «трех скважин», можно получать информацию не только о смещениях, но и о наклонах и, что важно, о деформациях кривизны.

Для примера на рис.7 показан блок в рудном теле, по контуру которого заложены глубинные реперы по принципу «трех скважин». В пределах блока в присечку проходятся штреки или орты высотой вчерне 3,5 м с закладкой бетонной смесью. За счет недозакладки над кровлей очистных выработок происходят сдвижение и деформации горных пород, которые фиксируются глубинными реперами на расстоянии по вертикали от кровли выработок $H = 9$ м (см. рис.5).

Для линии реперов *R*5-*R*6-*R*7-*R*28 (рис.7) по натурным наблюдениям за оседаниями этих реперов по формулам (1)-(3) по состоянию на апрель 2009 г. для репера *R*6 была получена кривизна $K = 0{,}005 \cdot 10^{-3}$ 1/м. В сентябре 2012 г. кривизна на этом же репере $K' = 0{,}026 \cdot 10^{-3}$ 1/м, а на репере *R*7 кривизна $K'' = 0{,}26 \cdot 10^{-3}$ 1/м, что является максимальным значением при обработке всех имеющихся данных по различным линиям реперов.

Содержания глинистых пород в долях от подрабатываемой толщи, как указывалось выше, принято $A = 0{,}28$. Тогда граничная кривизна ($K_{\text{г}}$), т.е. максимальное значение кривизны на верхней границе зоны водопроводящих трещин, определится из известного выражения [2]

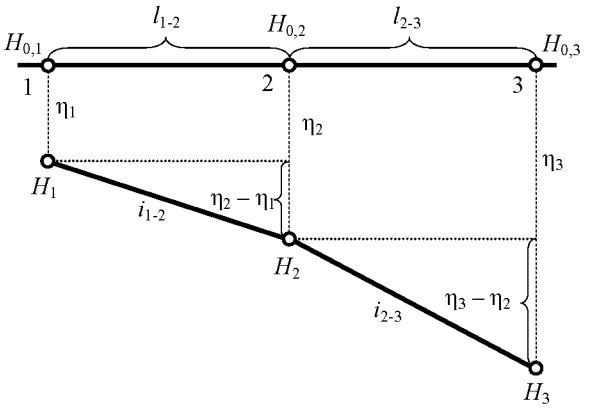


Рис.6. Схема определения оседаний, наклонов и кривизны

$$K_{\text{г}} = 0{,}8e^{A} \cdot 10^{-3} = 0{,}8e^{0{,}28} \cdot 10^{-3} = \\ = 1{,}058 \cdot 10^{-3} \text{ 1/м}. \qquad (4)$$

Граничная кривизна по (4) получена из обобщения результатов натурных определений высоты зоны водопроводящих трещин в комплексе с определением кривизны в зоне и на ее верхней границе. Значения кривизны в этом случае были получены на интервале 10-20 м, т.е. в среднем на интервале 15 м ($l_{15\text{ м}}$). Значение максимальной кривизны K'' получено из натурных наблюдений на интервале 63,5 м (интервал *R*7-*R*28 = 81 м, интервал *R*7-*R*6 = 46 м, откуда среднее значение интервала 63,5 м). Для сопоставления $K_{\text{г}}$ и K'' необходимо значения этих деформаций привести к единому интервалу кривизны, в данном случае целесообразно привести кривизну K'' к интервалу $l_{15\text{ м}} = 15$ м. Воспользуемся для этого формулой перехода с деформаций одного интервала на деформации другого интервала [3]:

$$K_i = K_j (l_j / l_i)^{1{,}22}, \qquad (5)$$

где K_i – кривизна, полученная на интервале измерения l_i; K_j – кривизна, полученная на интервале измерения l_j.

В нашем случае приведем K'' к интервалу измерения $l_{15\text{ м}} = 15$ м. В натурных условиях кривизна K'' получена на интервале $l_j = 63{,}5$ м, тогда значение этой кривизны, но для интервала измерения $l_i = 15$ м

$$K_{15\text{ м}} = K''(l_j / l_i)^{1{,}22} = 0{,}26 \cdot 10^{-3} (63{,}5/15)^{1{,}22} = \\ = 1{,}51 \cdot 10^{-3} \text{ 1/м}. \qquad (6)$$

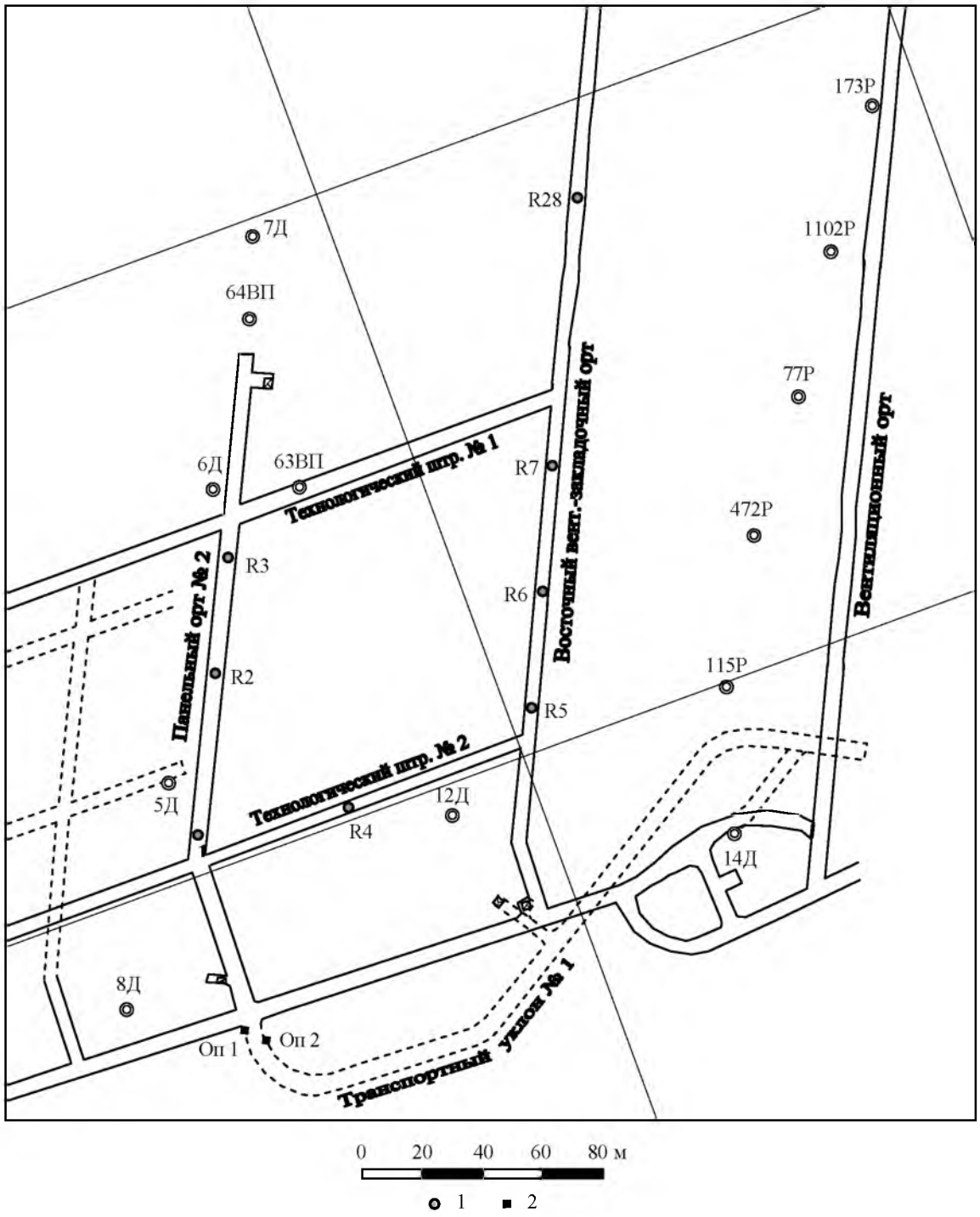


Рис.7. Местоположение подземной наблюдательной станции по контуру закладочного блока в горных выработках гор. –370 м

1 – скважина в кровле выработки с глубинным репером; 2 – опорный репер

Используя закономерность, выявленную проф. С.Г.Авершиным [1], получим расстояние по вертикали от кровли закладочных выработок до слоя с граничной кривизной, т.е. высоту ЗВТ, следующим образом:

$$\frac{K_{\text{г}}}{K_{15\text{ м}}} = \frac{H^2}{H_{\text{т}}^2}, \qquad (7)$$

где H – расстояние по вертикали от кровли выработки до глубинных реперов, по кото-

рым определяется кривизна; $K_{15\,м}$ – кривизна на репере $R7$, приведенная по формуле (6) к интервалу $l_{15\,м} = 15$ м; $K_г$ – граничная кривизна, определенная по формуле (4).

Отсюда высота ЗВТ над очистными закладочными выработками гор. –370 м;

$$H_т = \sqrt{\frac{H^2 K_{15\,м}}{K_г}} = \sqrt{\frac{9^2 \cdot 1{,}51 \cdot 10^{-3}}{1{,}058 \cdot 10^{-3}}} = 11\,м. \quad (8)$$

Таким образом, максимальная высота ЗВТ, считая от кровли закладочных выработок гор. –370 м Яковлевского рудника, составила 11 м. Исходя из этого, толща, оставляемая как защитная, будет на 15-18 % нарушена техногенными водопроводящими трещинами, считая от верхней границы очистных работ вверх по вертикали к каменноугольным породам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авершин С.Г.* Горные работы под сооружениями и водоемами. М.: Углетехиздат, 1954. 324 с.

2. *Гусев В.Н.* Геомеханика техногенных водопроводящих трещин / Санкт-Петербург. горный ин-т. СПб, 1999. 156 с.

3. *Гусев В.Н.* Учет длины интервала измерений при получении деформаций кривизны / В.Н.Гусев, А.Е.Журавлев // Методы прикладной математики в транспортных системах: Сб. науч. трудов / СПГУВК. СПб, 2002. Вып.6. С.61-62.

REFERENCES

1. *Avershin S.G.* Mining underneath structures and water objects. Moscow: Ugletechizdat, 1954. 324 p.

2. *Gusev V.N.* Geomechanics of water conducting fractures / Saint Petersburg Mining Institute. Saint Petersburg, 1999. 156 p.

3. *Gusev V.N., Zhuravlev A.E.* Length of the measuring interval during curvature deformations definition // Methods of applied mathematics in transport systems / SPGUVK. Saint Petersburg, 2002. Vol.6. P.61-62.