УДК 624,131:551

**Ю.А.НОРВАТОВ,** *д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник, post@spmi.ru*
**И.Б.ПЕТРОВА,** *канд. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник, post@spmi.ru*
*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

**Ju.A.NORVATOV**, *Dr. in geol.-min sc., chief research assistant, post@spmi.ru*
**I.B.PETROVA**, *PhD in geol.-min sc., leading research assistant, post@spmi.ru*
*Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)*

# ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ШАХТ

Рассмотрены гидродинамические и гидрогеомеханические процессы, развивающиеся при затоплении угольных шахт. Предложена оригинальная схема – модель деформирования водонасыщенного массива техногенной структуры для оценки поднятий земной поверхности.

***Ключевые слова:*** затопление шахт, гидрогеомеханика, нейтральное напряжение, разуплотнение пород, поднятие поверхности, расчетная зависимость.

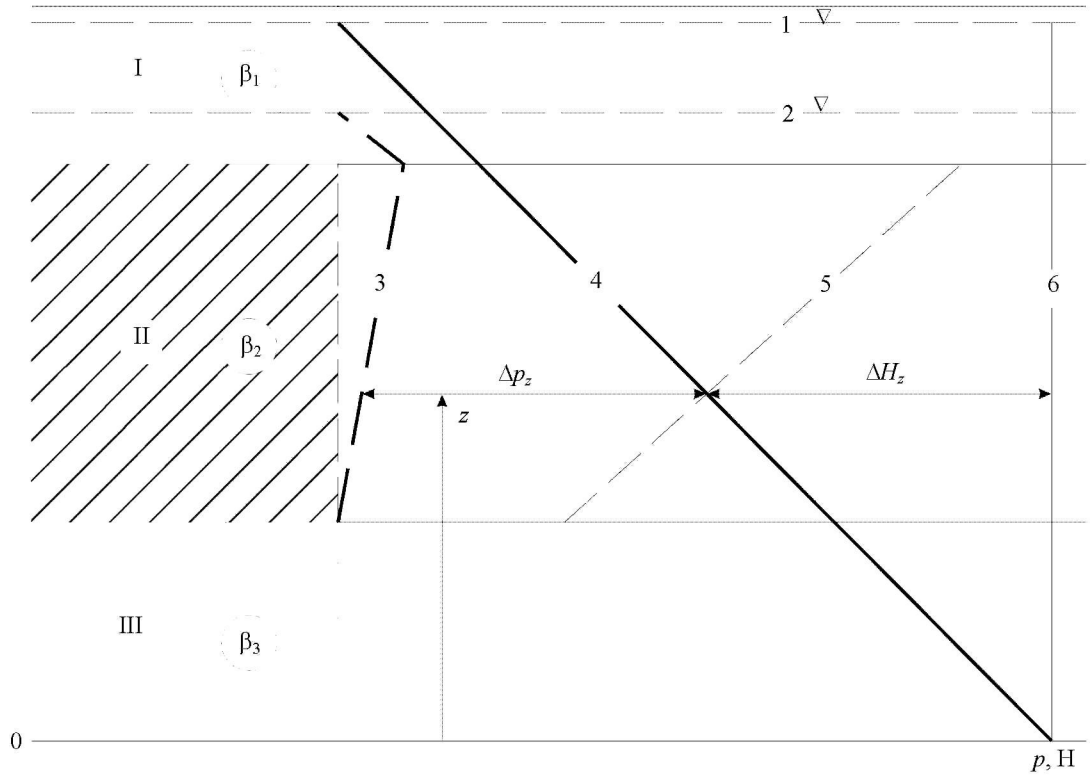
# HYDROGEOMECHANICAL PROCESSES IN FLOODING OF MINES

Hydrodynamic and hydrogeomechanical processes which may occur during flooding of coal mines are considered. Original scheme – model of strain state of waterbearing undermined massif for estimation of uplift of earth surface was suggested.

***Key words:*** flooding of mines, hydrogeomechanics, neutral stress, softening of rocks, uplift of the earth's surface, calculating relation.

В период реструктуризации угольной промышленности в России было ликвидировано путем затопления более двухсот шахт. Затопление шахт сопровождается существенным изменением сформированного при ведении подземных горных работ гидродинамического режима подземных вод [2] и соответствующим изменением напряженного состояния подработанных породных массивов.

При ведении подземных горных работ системами с управлением кровлей полным ее обрушением над выработанным пространством формируются водопроводящие трещины, нормальные напластованию и гидравлически активно с ним связанные. Выработанное пространство, заполненное обрушенными породами, и зона водопроводящих трещин над ним в период эксплуатации шахты остаются практически полностью сдренированными. Водопритоки в шахту в общем случае формируются за счет приповерхностного водоносного комплекса, приуроченного к покровным отложениям и к зоне повышенной трещиноватости, развитой в верхней части угленосной толщи. Как правило, между верхней границей зоны водопроводящих трещин и нижней границей приповерхностного водоносного комплекса подработанная угленосная толща характеризуется относительно низкой проницаемостью вкрест напластования. Притоки подземных вод поступают из приповерхностного комплекса в выработанное пространство по его площади путем перетекания через слабопроницаемую пачку, в которой фор-




Гидрогеомеханическая схема подработанного массива: положение уровней подземных вод приповерхностного водоносного комплекса при естественном режиме (1) и в период эксплуатации шахты (2); эпюры гидростатических давлений в подработанном массиве в период эксплуатации шахты (3) и при полном затоплении горных выработок (4); эпюры пьезометрических напоров в подработанном массиве в период эксплуатации шахты (5) и при полном затоплении горных выработок (6)

мируется нисходящий поток. Часть общего притока подземных вод в шахту формируется за счет непосредственного их поступления из приповерхностного комплекса на участках залегания разрабатываемых угольных пластов на минимальных глубинах – на этих участках водоносный комплекс вскрывается водопроводящими трещинами.

В соответствии с рисунком, уровни приповерхностного водоносного комплекса в период развития горных работ оказываются сниженными, по сравнению с их естественным залеганием (1) до положения (2).

Таким образом, в период эксплуатации шахт подработанный породный массив рассматривается как частично водонасыщенный в пределах приповерхностного водоносного комплекса (I), полностью водонасыщенный в пределах слабопроницаемой пачки (II) и полностью сдренированный в пределах зоны водопроводящих трещин и выработанного пространства, заполненного дезинтегрированными породами (III).

Напряженное состояние массива в пределах водонасыщенных зон определяется воздействием на породный скелет объемных гравитационных, гидростатических и гидродинамических сил. Эффективное напряжение в породном скелете может быть выражено известной формулой К.Терцаги [1, 3]:

$$\sigma_э = \sigma_п - \sigma_н, \qquad (1)$$

где $\sigma_п$ – полное напряжение, соответствующее весу столба пород вместе с водой над расчетной точкой массива и внешним силам, действующим на массив (в частности – тектоническим силам); $\sigma_н$ – нейтральное напряжение, соответствующее гидростатическому давлению в расчетной точке.

Эпюра распределения гидростатических давлений (3) характеризует напряженное состояние водонасыщенной части мас-

сива в период эксплуатации шахты. Эпюра распределения гидростатических давлений (4) характеризует напряженное состояние массива в естественных условиях или при полном затоплении горных выработок.

В соответствии с формулой (1) изменение эффективных напряжений в породном скелете определяется зависимостью

$$\Delta\sigma_э = \Delta\sigma_п - \Delta\sigma_н . \qquad (2)$$

В период ведения подземных горных работ происходит снижение гидростатических давлений (по сравнению с их распределением в естественных условиях) на величину $\Delta\sigma_н$, поэтому эффективные напряжения в породном скелете повышаются согласно формуле (2) на величину $\Delta\sigma_э$. Повышение эффективных напряжений влечет за собой компрессионные деформации скелета.

Процессы оседания земной поверхности за счет компрессионного уплотнения пород изучались ранее применительно к прогнозным оценкам оседаний земной поверхности при водопонижении, отборе нефти и газа [1, 3]. При ведении очистных работ на шахтах уплотнение скелета наряду с деформациями сдвижения породного массива определяют соответствующие оседания земной поверхности.

При затоплении горных выработок в процессе ликвидации шахт в подработанном массиве повышаются гидростатические давления и соответствующие пьезометрические напоры. Распределение пьезометрических напоров в подработанном массиве при эксплуатации и при затоплении шахты представлены на рисунке.

Повышение гидростатических давлений на величину $\Delta p_z = \Delta\sigma_{н,z}$ в любой точке водонасыщенного массива согласно формуле (2) приводит к снижению эффективных напряжений на величину $\Delta\sigma_{э,z}$ и соответствующему разуплотнению пород глинистого состава (с податливым скелетом).

Таким образом, при затоплении шахт возможны поднятия земной поверхности, обусловленные обсуждаемыми гидрогеомеханическими процессами. Однако наблюдаемые при затоплении шахт в Анжеро-Судженском районе Кузбасса и в Рурском бассейне незначительные поднятия земной поверхности не соответствуют теоретическим представлениям об их возможных масштабах.

В связи с этим необходимо иметь ввиду, что подработанный породный массив характеризуется техногенной структурой, поэтому он должен быть схематизирован как среда, представленная породными блоками в совокупности с техногенными трещинами расслоения и нормальными напластованию. При повышении гидростатических давлений происходит разуплотнение пород в блоках, которое компенсируется частичным или полным сокращением пустотности трещинного пространства.

Известно, что общий объем трещинного пространства подработанных массивов может быть определен через так называемый коэффициент пустотности; этот объем изменяется в пределах (0,15-0,3)$m$, где $m$ – мощность вынутого пласта угля [2]. В связи с особой блочной структурой подработанного массива его деформации при повышении гидростатических давлений принципиально отличаются от деформаций водонасыщенных массивов, рассматриваемых обычно в рамках схемы сплошной среды.

Мерой деформации породного скелета при изменении гидростатических давлений (или пьезометрических напоров) может служить коэффициент упругоемкости водонасыщенных массивов $\beta$.

Для ориентировочных расчетов коэффициент упругоемкости водоносных массивов можно оценить по зависимости [3]:

$$\beta = \frac{10^{-3}}{Z}, \qquad (3)$$

где $Z$ – глубина залегания расчетного слоя пород, м.

Поскольку значения коэффициента $\beta$ соответствуют снижению или повышению пористости породы при повышении или снижении пьезометрических напоров на 1 м, то деформацию единичного объема породы в блоках можно выразить зависимостью

$$\Delta\varepsilon_i = \beta_i \Delta H_i = \beta_i \Delta p_i, \qquad (4)$$

где $\Delta H_i$ – расчетное изменение пьезометрического напора, соответствующее расчетному изменению гидростатического давления, выраженного в метрах водяного столба.

Следовательно, поднятие земной поверхности $\eta$ при полном затоплении шахт следует оценивать с учетом упругоемкости породных блоков и техногенной пустотности подработанного массива по зависимости

$$\eta = 0{,}5\beta\Delta H^2 - (0{,}15 - 0{,}3)m, \qquad (5)$$

где $\beta$ – среднее значение коэффициента упругоемкости подработанного массива; $\Delta H$ – максимальное повышение пьезометрических напоров в подработанном массиве.

Очевидно, что поднятие земной поверхности при затоплении конкретной шахты возможно лишь при выполнении условия

$$0{,}5\beta\Delta H^2 > (0{,}15 - 0{,}3)m. \qquad (6)$$

Вместе с тем, зависимость (5) можно рассматривать как общую схему – модель деформирования водонасыщенных массивов, характеризующихся техногенной блочной структурой. Анализ таких массивов в рамках схемы сплошной среды может приводить к грубым ошибкам в прогнозных оценках поднятия земной поверхности.

Следует однако отметить, что использование предлагаемой схемы – модели деформирования подработанных массивов блочной структуры для прогноза поднятий земной поверхности сопряжено с преодолением определенных трудностей. В частности, для уточненного прогноза деформирования массива необходима предварительная дефференцированная оценка изменения пустотности подработанного массива и коэффициентов упругоемкости пород в разрезе, а также оценка изменений в разрезе содержания глинистых пород, подверженных деформациям разуплотнения за счет повышения гидростатических давлений.

## ЛИТЕРАТУРА


1. *Мироненко В.А.* Основы гидрогеомеханики / В.А.Мироненко, В.М.Шестаков. М.: Недра, 1974.

2. *Норватов Ю.А.* Методическое руководство по прогнозу гидрогеологических условий ликвидации угольных шахт и обоснованию мероприятий, обеспечивающих предотвращение негативных экологических последствий / Ю.А.Норватов, И.Б.Петрова; ВНИМИ. СПб, 2008.

3. *Шестаков В.М.* Гидрогеомеханика. М.: Изд-во МГУ, 1998.


## REFERENCES


1. *Mironenko V.A., Shestakov V.M.* Foundations of hydrogeomechanics. Moscow: Nedra, 1974.

2. *Norvatov Ju.A., Petrova I.B.* Methodical manual for estimation of abandonment conditions of liquidation of coal mines and substantiation of measures for prevention negative ecological aftereffects / VNIMI. Saint Petersburg, 2008.

3. *Shestakov V.M.* Hydrogeomechanics. Moscow: MSU, 1998.