

УДК 532/622.271.2

**Н.А. Кутепова, Ю.И. Кутепов**

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ РАЗВИТИЯ  
ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ  
С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ  
ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

*Выполнен анализ результатов натурных наблюдений за деформациями земной поверхности и гидродинамическим режимом затопления шахт в г. Анжеро-Судженске. Рассмотрен механизм развития гидрогеомеханических процессов в техногенно-нарушенных массивах шахтных полей, предложены принципы схематизации и методический подход к прогнозу деформаций земной поверхности при затоплении горных выработок.*

*Ключевые слова: затопление шахт и карьеров, гидрогеомеханические процессы, водоносные комплексы.*

---

**В** комплексе научно-исследовательских задач по прогнозированию последствий затопления шахт и карьеров важное практическое значение имеет разработка методики прогноза деформаций земной поверхности, вызванных изменением напряженно-деформированного состояния породных массивов при восстановлении гидродинамического режима подземных вод. Получение предварительных оценок возможных деформаций земной поверхности позволяет своевременно решить вопрос о необходимости принятия мер по обеспечению безопасности наземных сооружений и подземных коммуникаций инфраструктуры населенных пунктов, на территории которых находятся закрываемые предприятия. Несмотря на большой опыт ведения деформационного мониторинга при затоплении горных выработок у нас в стране и за рубежом, а также наличие современных программных комплексов, выполняющих моделирование геофильтрационных и гидрогеомеханических процессов в неоднородной

геологической среде, вопрос о возможности прогнозирования деформаций земной поверхности остается открытым до сих пор. Причин тому несколько, среди которых наиболее важной является недостаточная изученность закономерностей развития гидрогеомеханических процессов в техногенно-нарушенных массивах затопляемых шахтных и карьерных полей.

Закономерности развития гидрогеомеханических процессов при затоплении шахт изучены и сформулированы на основании результатов мониторинга, который выполнялся ВНИМИ в 1999—2005 гг. на геодинамическом полигоне, созданном в рамках программы реструктуризации угольной отрасли России в г. Анжеро-Судженске (северный Кузбасс). Освоение Анжеро-Судженского месторождения каменного угля было начато в 1890—92 гг., и за более чем за столетний период работы шахтами добыто порядка 150 млн. тонн угля, извлечено из недр более

130 млн м<sup>3</sup> горной массы и после погашения выработанных пространств методом обрушения в недрах было оставлено около 60 млн. м<sup>3</sup> пустот. На момент закрытия шахтами подработано 1740 га поверхности, из которых примерно 40 % приходится на жилой сектор. Максимальная глубина отработки пластов на шах. «Анжерская» составляет 820 м от поверхности, на шах. «Судженская» — 630 м.

В геолого-структурном отношении район представляет крупную синклинальную складку, образовавшуюся в результате надвижения девонских известняков со стороны Колывань-Томской складчатой зоны на терригенные отложения каменноугольной системы [1]. Находясь в области сопряжения тектонических зон различного возраста, Анжерская синклиналь осложнена дополнительной складчатостью и нарушена множеством дизъюнктивных нарушений, среди которых самым крупным является Томский надвиг. Согласно местной стратиграфической схеме угленосные образования района относятся к острогской (С<sub>1</sub> os), мазуровской (С<sub>2-3</sub> mz), алыкаевской (С<sub>2-3</sub> al) и промежуточной (Р<sub>1</sub> p) свитам. Рабочие пласты представлены углями высокой степени метаморфизма — преимущественно марки ОС.

На территории месторождения по данным предпроектных изысканий было выделено три водоносных комплекса: четвертичных отложений, каменноугольных отложений (угленосная толща) и девонских известняков. Четвертичные отложения развиты в виде сплошного покрова мощностью до 30 м на водоразделах и 2—5 м в долинах рек. Терригенная углеватная толща сложена переслаивающимися песчаниками, аргиллитами, сланцами, алевролитами с прочным карбонатным цементом. Обвод-

ненность комплекса изменяется в зависимости от литологического состава пород, условий их залегания, характера трещиноватости. Повышенную естественную водообильность имеют выветрелые породы до глубины 80—100 м, трещиноватые песчаники Центральной толщи, зоны тектонических нарушений. Девонские отложения представлены глинистыми известняками с прослоями песчаников, алевролитов и аргиллитов. Они перекрывают угленосную толщу на западе месторождения до глубины 30—80 м, но гидравлически изолированы от карбонового комплекса.

На начало затопления шахт уровни воды в шах. «Анжерская» находились на глубине 760 м от поверхности (на 01.10.95 г.), а на шах. «Судженская» — на глубине 590 м (на 01.10.97 г.). Для выявления общих закономерностей техногенного режима подземных вод при затоплении шахт в начале 2000 г. были организованы режимные гидрогеологические исследования. При этом уровень воды в шах. «Анжерская» находился на глубине 180 м от поверхности, в шах. «Судженская» — 340 м. На декабрь 2005 г. (окончание мониторинга) уровень воды в шах. «Анжерская» находился на глубине 38 м, в шах. «Судженская» — 11 м, т.е. почти достигли земной поверхности. Сеть гидрогеологического мониторинга включала 9 глубоких скважин (глубиной до 200 м), оборудованных датчиками гидростатического давления, и 17 пар открытых пьезометров для наблюдений за уровнями четвертичного водоносного комплекса.

Результаты мониторинга свидетельствуют о том, что в период эксплуатации месторождения основные статические запасы подземных вод карбоновой толщи в пределах шахтной депрессии были дренированы.

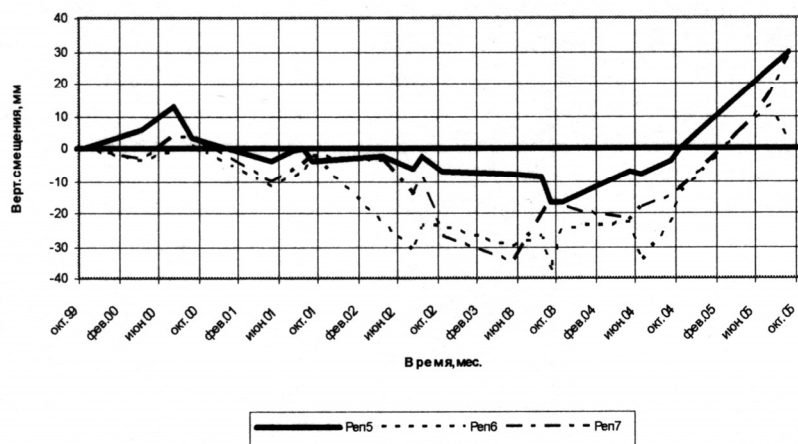
На обоих шахтных полях в пределах контура отработки запасов сформировался техногенный комплекс осушенных трещиноватых пород мощностью примерно 200 м, который является крупномасштабной дренажной. Формирование водопритоков в систему подземных горных выработок и техногенный водоносный горизонт происходит как на выходах зоны водопроницаемых трещин под четвертичные отложения, так и в результате перетекания по всей площади шахтного поля, что подтверждается наблюдениями по скважинам, по которым четко фиксируется нисходящий поток подземных вод.

Деформационный мониторинг на территории полигона осуществлялся сотрудниками Кемеровского представительства ВНИМИ посредством комплексных маркшейдерско-геодезических наблюдений с использованием современных возможностей наземной и космической геодезии. Результаты мониторинга показали, что на всей охваченной наблюдениями территории шахтных полей площадью 3374 га под влиянием затопления горных выработок происходит развитие неравномерных воздымающих движений земной поверхности, достигающих максимума на центральных участках мульды сдвижения. Вертикальные поднятия на этих участках за период наблюдений (5 лет) составили 100—200 мм, характеризовались резкими пиковыми значениями, представляющими опасность для находящихся здесь зданий и сооружений [2]. В связи с большим разрывом сроков начала затопления шахт и организации мониторинговых наблюдений (3—5 лет), значительная часть потенциала подъема поверхности не была зафиксирована, поэтому предполагается и расчетами доказываемая, что фактические деформации были больше в 2—3 раза.

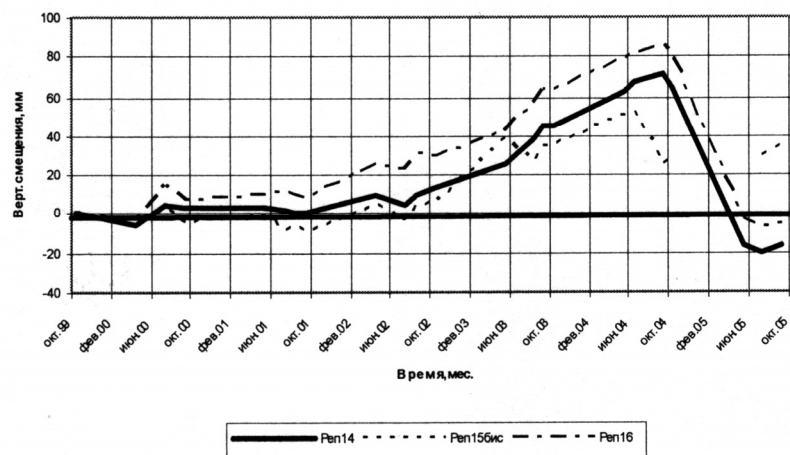
Совместный анализ результатов геодезических и гидрогеологических наблюдений свидетельствует о том, что при довольно монотонном поднятии уровней подземных вод развитие деформаций земной поверхности во времени происходит в виде чередования поднятий и оседаний. По характеру движений земной поверхности выделяются зоны трех типов: 1—повышенной ритмичности проявления во времени знакопеременных форм деформаций с преобладанием оседаний; 2 — умеренной ритмичности с тенденцией к вздыманию поверхности; 3 — монотонного поднятия. Выявленная плановая зональность закономерно согласуется со строением подработанного массива: первая зона приурочена к выходам отработанных пластов под четвертичные отложения; вторая и третья — сменяют друг друга по мере погружения пластов под налегающую толщу. Установлена также вполне однозначная зависимость между значениями вертикальных смещений земной поверхности, достигнутыми на конец затопления шахт, и величиной восстановления напоров на соответствующем участке в пределах шахтной депрессии.

Следует заметить, что факты подъема поверхности земли фиксируются также при затоплении открытых горных выработок, что подтверждается результатами натурных наблюдений, полученными Уральским Филиалом ВНИМИ на карьере «Южный» г. Карпинск [3]. За шесть лет наблюдений максимальная величина подъема земной поверхности в прибортовой полосе шириной 200—250 м, ограниченной областью распространения депрессионной воронки, не превысила 40 мм, что не представляло угрозы для расположенных здесь сооружений.

Зона 1



Зона 2



Зона 3

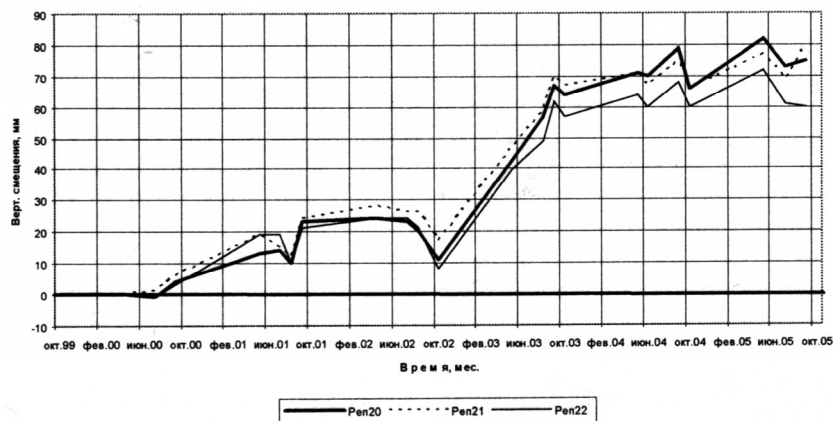


Рис. 1. Вертикальные смещения реперов по профилю «Тяжинский»

Механизм развития гидрогеомеханических процессов в породных массивах при затоплении горных выработок на первый взгляд кажется достаточно ясным. Восстановление напоров подземных вод, сниженных при ведении горных работ, создает эффект декомпрессионного расширения массива с соответствующим вздыманием земной поверхности. Чем значительнее было достигнуто водопонижение в период эксплуатации горных выработок, тем выше величина поднятия поверхности массива. Неравномерное по величине распределение деформаций на земной поверхности, фиксируемое инструментальными наблюдениями, объясняется, во-первых, неоднородностью поля гидростатических давлений в пределах области депрессионного водопонижения и, во-вторых, распространением породных слоев с различной деформационной способностью. Однако в рамках сформулированной версии не находят отражения такие объективно наблюдаемые явления как чередование поднятий и оседаний, которые обуславливают неоднозначную направленность деформаций земной поверхности на отдельных временных этапах и на конец затопления выработок. Очевидно, что результаты прогнозов, получаемые без учета этих явлений, будут приблизительными, какие бы точные методы расчетов при этом не использовались.

Объяснение выявленных закономерностей деформирования земной поверхности требует анализа изменений структуры породных массивов и характера деформационного поведения углевмещающих пород, произошедших под влиянием техногенных воздействий, обусловленных производством горных работ. Проходка подземных выработок сопровождается сдвижением пород над выработанным

пространством, что представляет собой первопричину последующих процессов развития техногенной трещиноватости, приводящих к изменению структуры и свойств углевмещающих толщ. На месторождениях, разрабатываемых способом с обрушением кровли, в строении подработанного массива по степени выраженности структурных нарушений породных слоев выделяют три основные зоны: обрушения; трещин; плавных изгибов.

Наибольшие техногенные изменения имеют место в зоне обрушения, где материнские породы, представленные первоначально прочными скальными или полускальными разновидностями, раздроблены до состояния обломков. Выше зоны обрушения осадочные слоистые толщи угольных месторождений деформируется в процессе сдвижения в виде послойного изгиба слоев, между которыми параллельно напластованию образуются трещины расслоения. Здесь, в отличие от зоны обрушения, сохраняется первоначальная ориентировка структурных элементов массива. При определенных деформациях растяжения (сжатия) изгибающихся слоев в них образуются нормально секущие трещины, разделяющие каждый слой на множество блоков. Часть массива, где трещины образуют единую гидравлическую систему, связанную с выработанным пространством, называют зоной водопроводящих трещин (ЗВТ). Учитывая, что в пределах зоны обрушения и ЗВТ породный массив подвергается кардинальным изменениям в сравнении с естественным состоянием, то эти зоны вместе принято называть техногенным комплексом. Остальную часть подработанного массива – зону плавных изгибов слоев без разрывов, расположенную выше ЗВТ и распро-

страняющуюся до земной поверхности, можно условно считать мало измененной по структуре и физико-механическим свойствам пород в сравнении с зоной трещин.

Развитие техногенной трещиноватости над выработанными пластами приводит к увеличению проницаемости подработанного массива и активизации гидравлической связи между выработанным пространством и водонасыщенными пластами налегающей толщи. Слои кровли и почвы действующих выработок отдают воду, и напоры воды в них снижаются, в результате чего в угленосном водоносном комплексе вокруг отработанных участков формируется обширная депрессия, распространяющаяся на значительное расстояние от места непосредственной выемки полезного ископаемого. По всей площади депрессии из-за снижения давления воды в сдренированных слоях происходит депрессионное сжатие пород. Породы в зонах обрушения и водопроводящих трещин в период эксплуатации выработок, как правило, осушаются. При небольшой глубине отработки пластов могут осушаться и верхние горизонты углевмещающей толщи, сложенные трещиноватыми породами коры выветривания.

После закрытия шахт и прекращения водоотлива начинается естественное затопление горных выработок, сокращение депрессии, сопровождающееся постепенным ростом гидростатического давления в сдренированных слоях и их декомпрессионным расширением, что на земной поверхности проявляется в виде вертикальных поднятий. Вместе с тем, затопление пород в осушенных зонах техногенно нарушенного пространства предопределяет возможность их дополнительного уплотнения, так как увлажнение практически всех разно-

видностей полускальных пород сопровождается повышением деформационной способности. На земной поверхности этот процесс проявляется в развитии деформаций оседания. Оба процесса — декомпрессионное расширение и дополнительное уплотнение пород — могут протекать в массиве одновременно, конкурируя между собой в плане проявления на земной поверхности, интегрально вызывая либо деформации поднятия, либо оседания.

Прогноз изменения напряженно-деформированного состояния техногенно-нарушенных массивов шахтных полей при восстановлении гидродинамического режима подземных вод является сложным из-за необходимости учета в расчетной схеме одновременное развитие разнонаправленных видов деформаций при однозначном изменении (снижении) эффективных напряжений. Для разработки принципов гидрогеомеханической схематизации и определения вида расчетных геомеханических моделей (физических уравнений, описывающих функциональную связь между напряжениями и деформациями) рассмотрим особенности деформационного поведения горных пород с различной степенью техногенной нарушенности.

Вмещающие толщи угольных месторождений сложены в основном полускальными осадочными породами — песчаниками, алевролитами, аргиллитами, сланцами, известняками, обладающими прочными цементационно-кристаллизационными структурами. Основной особенностью таких пород является сильно выраженная зависимость характера деформирования от степени структурных нарушений (рис. 2).

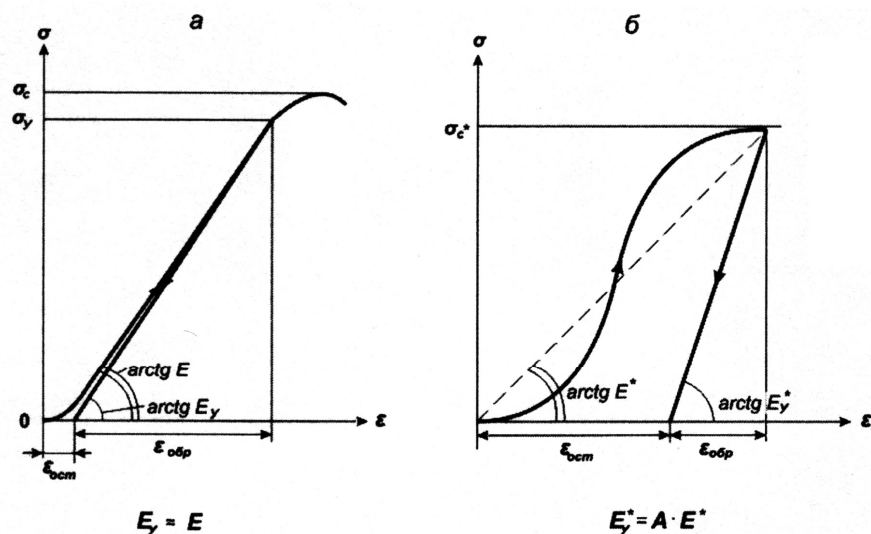


Рис. 2. Диаграммы напряжение — деформация для ненарушенных (а) и трещиноватых (б) пород

В массивах породы всегда нарушены естественной трещиноватостью. Деформирование естественных трещиноватых массивов при нагрузках, не приводящих к нарушению жестких структурных связей, происходит в упругом режиме за счет сжатия или раскрытия трещин. В период эксплуатации терригенные толщи в силу низкой проницаемости не осушаются полностью, но напоры в них снижаются, что приводит к сжатию толщи. Депрессионные нагрузки при этом не превышают предела упругости пород, не приводят к структурным нарушениям, развитию дополнительной трещиноватости и снижению механических характеристик. Заметим, депрессионные нагрузки при отработке пластов до глубины 1 км не превышают 5.0—7.5 МПа, предел упругости  $\sigma_y$  полускальных трещиноватых пород составляет 0,5—0,95 от максимальной прочности на сжатие  $\sigma_c$ , равной 20—120 МПа. Поэтому деформационное поведение пород вмещаю-

щего комплекса в рамках решения задач по расчету депрессионных осадок и деформаций декомпрессионного расширения описывается упругой моделью. При этом величина деформаций сжатия-расширения ( $\pm \Delta S$ ) линейно увязана с изменением напоров ( $\pm \Delta H$ ) и упругими характеристиками пород (модуль деформации примерно равен модулю упругости — рис. 2, а), что в рамках одномерной схемы для толщи мощностью  $H_1$  описывается выражением:

$$\Delta S = \Delta H \rho_v H_1 / E_y^* \quad (1)$$

Модуль упругости трещиноватых пород ( $E_y^*$ ) зависит от литологического состава, степени выветрелости и трещиноватости (густоты, направленности и ширины раскрытия трещин). Отсюда следует, что неравномерное распределение деформаций земной поверхности при развитии гидрогеомеханических процессов предопределено изначально естественной структурно-механической неоднородностью углевмещающих толщ, обуслов-

ленной литогенетическими и геолого-структурными особенностями месторождений.

В пределах техногенного комплекса породный массив приобретает трещиновато-блочную дискретность. Деформации таких пород, также как и трещиноватых, связаны с сокращением трещинного пространства, но при закрытии трещин блоки пород перемещаются в новое положение, обуславливая необратимую часть деформации. При разгрузке пород восстанавливается только упругая часть деформации. Такой характер деформационного поведения описывается упруго-пластичной моделью, в которой напряжения и деформации на ветвях нагружения и разгрузки функционально связаны различными по величине коэффициентами пропорциональности (рис. 1, б). Модуль деформации  $E_0^*$  при нагружении в несколько раз меньше модуля упругости  $E^*$  при разгрузке, причем оба параметра ниже, чем для тех же пород ненарушенного сложения. Находясь длительное время в осушенном состоянии, породы техногенного комплекса подвергаются эндогенному выветриванию, что при повторном их обводнении обуславливает активизацию межфазовых взаимодействий, адсорбционное понижение прочности и как следствие — дополнительную осадку.

Теперь проанализируем направленность деформаций пород техногенного комплекса в условиях развития гидрогеомеханических процессов. Допустим, что интересующий нас слой трещиноватых пород с модулем деформации  $E^*$  залегает на глубине  $H_1$  от земной поверхности и имеет мощность  $H_2$  (рис. 3). Вначале слой был полностью осушен, а в вышележащей толще напоры были снижены лишь частично. До затоп-

ления вертикальные напряжения на кровле слоя, обусловленные весом налегающей толщи, составляли  $\sigma_1 = \rho_n H_1$ , а на подошве  $\sigma_2 = \rho_n (H_1 + H_2)$ , где  $\rho_n$  — плотность пород (для упрощения решения задачи принимается одинаковой для верхнего и нижнего слоев). После отключения дренажной системы начнется повышение уровня воды в нижнем слое за счет перетекания из верхней толщи. Если бы напряженное состояние пород при этом не менялось, то затопляемый слой испытывал бы только деформации уплотнения за счет снижения модуля деформации при контакте пород с водой, и величина осадки (в одномерной постановке задачи) составила бы:

$$\Delta S \downarrow = \frac{\rho_n \cdot (H_1 + 0,5H_2) \cdot H_2}{E^*} \cdot \left( \frac{1}{k_{sof}} - 1 \right) \quad (2)$$

Однако напряженное состояние пород при повышении уровня воды в слое не остается постоянным. Через некоторое время после восстановления напоров в обоих слоях до естественного уровня подземных вод УПВ (до земной поверхности), напряжения на кровле расчетного слоя снизятся на величину  $\Delta\sigma_1 = \rho_b H_1$ , а на подошве слоя — на величину  $\Delta\sigma_2 = \rho_b (H_1 + H_2)$ , где  $\rho_b$  — плотность воды. Деформация расширения слоя в результате этого составит:

$$\Delta S \uparrow = \frac{\rho_b \cdot (H_1 + 0,5H_2) \cdot H_2}{K_{пл} \cdot k_{sof} \cdot E^*} \quad (3)$$

где  $K_{пл} = E_y^*/E^*$  — коэффициент пластичности — отношение между

модулем упругости при разгрузке и модулем деформации при нагружении пород. Общая деформация слоя при затоплении  $\Sigma \Delta S = \uparrow \Delta S - \Delta S \downarrow$  будет определяться по выражению:

$$\Sigma \Delta S = \frac{(H_1 + 0,5H_2) \cdot H_2}{E^*} \cdot \left[ \rho_B \cdot \frac{1}{K_{пл} \cdot k_{sof}} - \rho_{пн} \cdot \left( \frac{1}{k_{sof}} - 1 \right) \right] \quad (4)$$

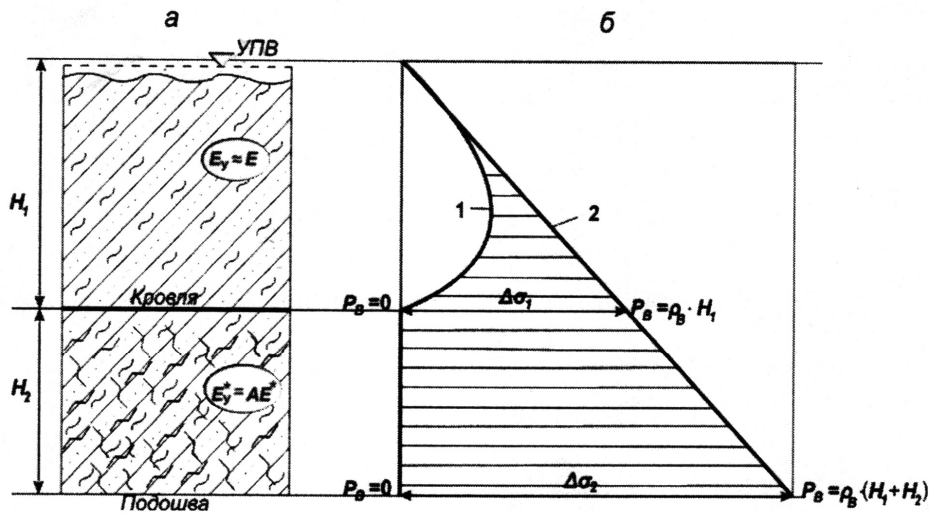
Если принять  $\rho_{пн} = 2\rho_B$ , то выражение (4) запишем в следующем виде:

$$\Sigma \Delta S = 2 \cdot \frac{\rho_B \cdot (H_1 + 0,5H_2) \cdot H_2}{E^*} \cdot \left[ \frac{1}{k_{sof}} \cdot \left( \frac{1}{2K_{пл}} - 1 \right) + 1 \right] \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что деформация упругого расширения будет преобладать над деформацией уплотнения при условии, если часть формулы в квадратных скобках больше нуля. Поэтому в качестве ориентировочного критерия для определения направленности общей упруго-пластической деформации можно принять условие, при котором расширение преобладает над осадкой:

$$k_{sof} > 1 - 0,5/K_{пл} \quad (6)$$

Всестороннее изучение вопроса о влиянии трещиноватости и водонасыщения на деформационные параметры пород по опубликованным [5], позволило установить, что величина результатов исследований [4, чина  $K_{пл}$  скальных



**Рис. 3. Расчетная схема для определения деформаций слоя трещиноватых пород при затоплении массива:**

*а* — строение массива; *б* — эпюры распределения гидростатического давления ( $P_B$ ) по глубине массива до начала затопления (1) и после окончания (2)

и полускальных пород может изменяться в пределах 1 до 4 в зависимости от развития трещиноватости. Средние значения коэффициентов размягчения в зависимости от степени метаморфизма углевмещающих пород составляют:  $k_{sof} = 0,9 \div 0,95$  — для месторождений углей марок ПА и А;  $k_{sof} = 0,6 \div 0,85$  — для марок Ж, К, ОС, Т;  $k_{sof} = 0,4 \div 0,6$  — для марок Д и Г [6]. Подставив среднее для зоны трещин значение  $K_{пл} = 2$  в формулу (6), получим, что деформации расширения будут преобладать над осадкой в водоустойчивых породах с  $k_{sof} > 0,75$ , что характерно для месторождений углей высокой и отчасти средней степени метаморфизма. И наоборот, если породы размокаемые ( $k_{sof} < 0,75$ ), что характерно для месторождений углей низкой степени метаморфизма, они будут испытывать осадку при затоплении.

Сильно разрушенные породы зоны обрушения деформируются как все обломочные разновидности, для которых обратимая часть деформации обычно не превышает 25 %, т.е. показатель  $K_{пл} > 4$ . При подстановке данной величины в условие (6) получим, что преобладание деформаций расширения возможно только в породах практически неразмягчаемых с  $k_{sof} > 0,9$ , что характерно только для месторождений марок ПА и А. На других месторождениях это маловероятно, поскольку в кровле угольных пластов обычно залегают глинистые разновидности, которые более всего подвержены размягчению. Это дает основание считать, что породы зоны обрушения на всех месторождениях при затоплении будут испытывать преимущественно деформации уплотнения.

Поскольку в пределах техногенного комплекса степень трещиноватости и литологический состав пород изменяются, то вся эта толща неоднородна по

показателям  $k_{sof}$  и  $K_{пл}$ . Постепенное вовлечение в гидрогеомеханический процесс отдельных слоев сопровождается чередованием подъемов и оседаний на земной поверхности, что и наблюдается нами в ходе мониторинга. С использованием приведенных выше средних параметров  $k_{sof}$  и  $K_{пл}$  можно ориентировочно оценить конечную направленность деформаций земной поверхности при затоплении шахтных полей, учитывая при этом, что общая картина смещений земной поверхности обусловлена не только упруго-пластическим деформированием пород техногенного комплекса, но и упругим расширением ненарушенных пород вмещающего комплекса. В результате несложных тестовых расчетов получаем, что затопление подземных выработок на месторождениях углей высокой степени метаморфизма будет сопровождаться повсеместным планомерным поднятием земной поверхности. Во всех других случаях будут наблюдаться знакопеременные деформации, причем на месторождениях средней степени метаморфизма — с общей тенденцией к вздыманию, а на месторождениях низко метаморфизованных углей — к оседанию. Величина деформации в каждом конкретном сечении подработанного массива зависит от соотношения мощностей осушенных пород техногенного комплекса и частично сдренированных пород налегающей и подстилающей толщ вмещающего комплекса.

Инженерно-геологический анализ природно-техногенной структуры подземного пространства, характерной для угольных месторождений, разрабатываемых подземным способом, позволил выделить основные факторы, определяющие условия развития гидрогеомеханических процессов при затоплении шахт и закономерности проявления деформационных процессов на земной поверхности (зональность, величину,

скорость и направленность смещений, чередование по времени оседаний и поднятий). К их числу отнесены: естественная и техногенная структурно-механическая неоднородность углевмещающей толщи; размеры и пространственное расположение техногенного комплекса; размеры области депрессионного водопонижения и распределение в ней напоров на конец эксплуатации шахт; интенсивность восстановления уровней подземных вод в период затопления.

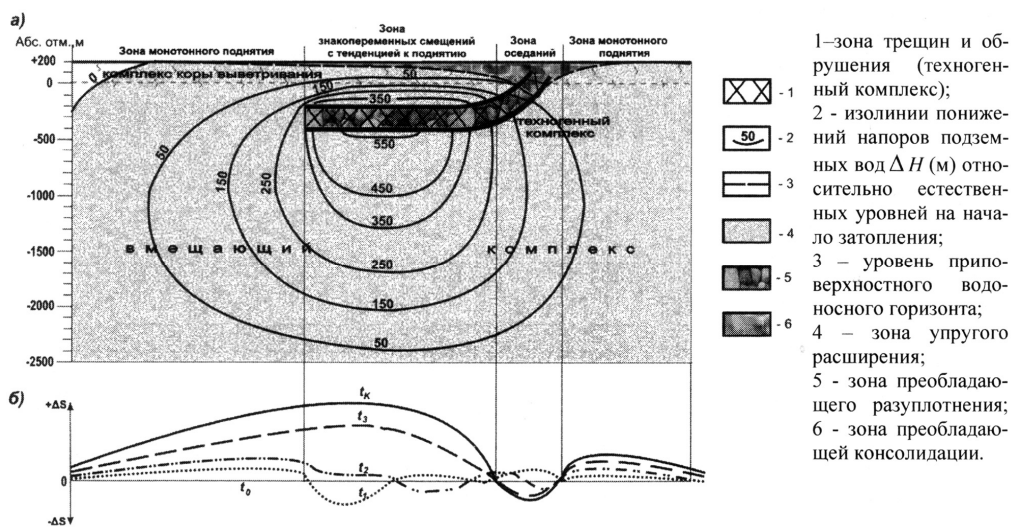
С учетом данных факторов прогноз деформаций земной поверхности, вызванных затоплением горных выработок, целесообразно выполнять, рассматривая в качестве общей расчетной области — массив горных пород в пределах распространения депрессионного водопонижения, достигнутого на конец эксплуатации выработок. Основной таксономической единицей схемы является комплекс, объединяющий неоднородную (слоистую) толщу пород, относящихся к одному генетическому типу и характеризующихся схожими структурно-механическими особенностями. Наименование комплексов может быть различным, учитывающим местную специфику горно-геологических условий, например, для Анжеро-Судженского полигона — четвертичный, кора выветривания, вмещающий и техногенный. Структурной единицей второго порядка является зона — часть комплекса, в пределах которой изменение напряженного состояния вызывает однонаправленный вид деформации: *а* — зона упругого расширения; *б* — зона преобладающего разуплотнения; *в* — зона преобладающей консолидации. При этом каждый комплекс может быть охарактеризован присущими для слагающих его пород расчетными параметрами деформационных (модулями упругости и деформации, коэффициентом Пуассона, ко-

эффициентом пластичности), физико-химических (коэффициентом размягчения) и фильтрационных (коэффициентами фильтрации и упругоэластичности) свойств пород, а каждая зона — геомеханической моделью (физическим уравнением определенного вида, описывающим функциональную связь между напряжениями и деформациями с использованием параметров свойств пород).

Расчетная схема, составленная в соответствии с указанными принципами для условий подземной разработки свиты пластов наклонного залегания, приведена на рис. 4.

Методологический подход к решению задач по прогнозу деформаций земной поверхности при затоплении горных выработок состоит в выполнении последовательных геофильтрационных и геомеханических построений по схеме: прогноз восстановления напоров подземных вод в сдренированных слоях массива → перерасчет полей геомеханических напряжений с учетом изменившихся гидростатических давлений → оценка величин и направленности деформаций на базе соответствующих геомеханических моделей.

Реализация данного подхода в настоящее время полностью обеспечивается только в геофильтрационной части благодаря имеющимся методическими разработками в области прогнозирования гидрогеологических условий затопления горных выработок на базе методов численного моделирования [7]. Применение программных комплексов, позволяющих моделировать напряженно-деформированное состояние водонасыщенных породных массивов с использованием МКЭ [8], ограничено областями, в которых деформирование пород при декомпрессии описывается упругой или упруго-пластической моделью с общей направленностью к



**Рис. 4. Принципиальная расчетная схема к прогнозу деформаций земной поверхности при затоплении шахт: а) структура схемы; б) ожидаемое распределение вертикальных смещений ( $\Delta S$ ) земной поверхности на различные моменты времени от начала затопления ( $t_0$ ) до полного восстановления напоров подземных вод ( $t_k$ )**

расширению. При наличии в массиве зон упруго-пластического деформирования с преобладающей консолидацией целесообразно применить принцип суперпозиции, выполняя геофильтраци-

онную часть прогнозной задачи численными методами, а геомеханическую — аналитическим расчетом в рамках одномерных схем с использованием выражения (4).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юзвицкий А.З., Елисафенко И.И. Анжерский район (геологический очерк). Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Т.7. (Кузнецкий, Горловский бассейны и другие угольные месторождения Западной Сибири). — М. — Л.: Недра, 1969.
2. Исследование гидрогеомеханических процессов и проведение комплексного мониторинга на Анжеро-Судженском геодинамическом полигоне. Отчет НИР. Договор №56/2004 (научн. руковод. Лазаревич Т.И.) — г. Кемерово: Кемеровское представительство ВНИМИ. 2004 г.
3. Отчет по результатам проведения геомеханического и гидрогеологического мониторинга устойчивости бортов ДОО «Разрез Южный» ОАО «Вахрушевуголь». Договор № 2/2008 (научн. руковод. Б.Г. Афанасьев, Ю.И. Кутепов). — г. Екатеринбург: Уральский Филиал ВНИМИ, 2008. 90 с.
4. Роза С.А., Зеленский Б.Д. Исследование механических свойств скальных оснований гидротехнических сооружений. — М.: Энергия, 1967. 392 с.
5. Евдокимов П.Д., Салегин Д.Д. Прочность, сопротивление сдвигу и деформируемость оснований сооружений на скальных породах. — М.: Энергия, 1964.
6. Изучение влияния геомеханических процессов, происходящих в отработанном горном массиве в сложных гидрогеологических условиях, и разработка рекомендаций по безопасному ведению работ в условиях шахт «Глубокая» (Ростовуголь), «Байдаевская» (Кузнецкуголь), «Центральная» (Прокопьевскуголь), «Тайбинская» (Киселевскуголь). Отчет (закл.) о НИР по договору № 252-Г-ПЛ-МТ-К. (Научн. руководитель Шик В.М.). СПб.: ВНИМИ. 2000.
7. Норвагова О.И. Методика прогноза гидрогеологических условий затопления уголь-

ных шахт на базе численного моделирования геофильтрационных процессов (на примере Восточного Донбасса) / Автореферат на соиск. ученой степени канд. техн. наук. — СПб, 2005. 23 с.

8. Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Подольский В.А. Прогноз гидрогеомеханических процессов в прибортовом массиве при затоплении карьера. // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2004. № 5 — М.: Изд-во МГТУ. С. 65—73. **ПЛАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кутепова Надежда Андреевна — кандидат геолого-минералогических наук, вед. научный сотрудник,

Кутепов Юрий Иванович — доктор технических наук, профессор, зав. лабораторией.

Научный центр геомеханики и проблем горного производства СПГИ (ТУ).



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

### МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЙ СЕТИ

Бахвалов Лев Алексеевич, профессор, доктор технических наук,

Ни У Кхе, аспирант, Nikoye18481@gmail.com,

Московский государственный горный университет.

*Клиент – серверная архитектура - неотъемлемая часть современных информационных технологий. Она создала новые возможности для разработчиков аппаратных и программных средств. За основу технологии был положен принцип распределения – один из основных двигателей прогресса в информационной индустрии. Полное отделение реализации исполняемых функций от интерфейса для доступа к ним дало мощный толчок в инновационной деятельности разработчиков программного обеспечения. Однако, стремительное внедрение клиент – серверной архитектуры в различные отрасли человеческой деятельности породило ряд проблем, связанных как правило с перегрузкой серверов и, как следствие, выхода их из режима функционирования. Для клиент – серверной технологии именно ситуации перегрузки серверов являются наиболее опасными, так как в этом случае не могут работать нормально и все клиенты. Рассмотрена задача оптимизации режима функционирования клиент-серверной сети в вычислительной сети с удаленным доступом через выделенный канал связи.*

### MODELLING OF THE CLIENT-SERVER NETWORK FUNCTIONING MODES

Bahvalov L.A., Ni U Khe

*The client – server architecture - an integral part of modern information technology. She has created new possibilities for developers of equipment rooms and software. For a technology basis the distribution principle – one of the basic engines of progress in the information industry has been put. The full branch of realization of executed functions from the interface for access to them has given powerful spur in innovative activity of software developers. However, prompt introduction the client – server architecture in various branches of human activity has generated a number of the problems connected as a rule with an overload of servers and, as consequence, of their exit from a mode of functioning. For the client – server technology of a situation of an overload of servers are the most dangerous as normally and all clients in this case can't work. In the given work the problem of optimization of a mode of functioning of a client-server network in the computer network c by remote access through the allocated communication channel is considered.*

*Key words: the client, the Communication channel, server station, server program.*