

П.І. Світалка, к.т.н., с.н.с. ПВ Укр ДГРІ

З.М. Дуда, ПВ УкрДГРІ

В.В. Соловійов, д.х.н., професор

О.В. Бандуріна, к.т.н., доцент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН НАВКОЛОСВЕРДЛОВИННОГО МАСИВУ З УМІСТОМ ПЛАСТИЧНИХ ПОРІД

Проведено експериментальні дослідження зміни властивостей порід залежно від тиску у свердловині та в масиві пластичного пласта на різній відстані від свердловини із часом. Проаналізовано вплив температурних напружень на руйнування пластичних порід в масиві при бурінні.

***Ключові слова:** напружено-деформований стан, реологічні властивості, свердловина, стовбур, пластична порода.*

Вступ. Прогнозування напружень, що діють по стовбуру вертикальної глибокої свердловини та поблизу неї, має велике практичне значення. Більшість ускладнень, які зустрічаються на сьогодні у свердловинах, – результат певного напруженого стану масиву з усіма його внутрішніми процесами, зокрема ослаблення, що викликаються бурінням глибокої свердловини. І до тих пір, поки не встановлено й не оцінено цей напружений стан, не розкрито його природу і механізм виникнення, важко вживати науково обґрунтованих заходів щодо боротьби, а головне – щодо запобігання цим ускладненням [1, 2].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Вивчення зміни об'ємного напруженого стану гірського масиву з умістом пластичних порід має важливе значення як на стадії буріння свердловини, так і на стадії її кріплення й експлуатації. У зв'язку зі складністю технічного розв'язання проблеми безпосереднього вимірювання тиску в масиві питання зміни напруженого стану гірських порід при розкритті гірського масиву свердловиною і після кріплення її до цього часу залишається недостатньо вивченим. Розв'язанню цієї проблеми тією чи іншою мірою присвячено роботи І.К. Фоменка, А.М. Папуші, Є.М. Барановського [1 – 5]. Завдання оцінювання напружено-деформованого стану стовбурів свердловин досить складно описувалося аналітичними рівняннями.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Часто руйнування гірських порід відбувається за межами зони пружних

деформацій – в області пластичного стану, що характеризується появою в породах значних залишкових деформацій. Пластичні деформації виникають у результаті переміщення дислокацій; вони починаються від місць порушення структури в кристалі й поширюються по площині ковзання поступово, не порушуючи кристалічної структури та суцільності речовини. Поряд із цим у породах спостерігається взаємне переміщення досить великих обсягів, обтиснення, зминання і т.д. (квазіпластичність). Поведінку гірського масиву під дією сил можна описати різними моделями: механічної моделлю – пружиною (тіло Гука); механічною моделлю, що являє собою важке тіло, яке лежить на горизонтальній площині та сполучається з пружиною (тіло Сен-Венана). Більшість гірських порід належить до зміцнюючих тіл, і для підтримки в них пластичних деформацій необхідно підвищувати напруги, при цьому зростання напружень відбувається зі спадною швидкістю. Така поведінка породи моделюється комбінацією ідеально пружного тіла Гука й ідеально в'язкого тіла Ньютона (поршень з отворами, що рухається в циліндрі, наповненому в'язкою рідиною). При паралельному з'єднанні цих тіл виходить модель тіла Кельвіна – Фойгта, при послідовному – тіла Максвелла. Однак ці моделі описують напружено-деформований стан гірських порід без урахування реологічних властивостей породи та відповідних термобаричних умов масиву.

Тому **метою роботи** є проведення експериментальних досліджень зміни властивостей порід залежно від тиску у свердловині та в масиві пластичного пласта на різній відстані від свердловини із часом.

Основний матеріал і результати. Пластичність скельних порід збільшується з підвищенням температури і бічного тиску, однак кількість дислокацій у породах при цьому не змінюється, але значно збільшується їх рухливість, що сприяє пластичній деформації. Породи, які поведуть себе як крихкі, у звичайних умовах при підвищених тисках і температурах набувають явно виражених пластичних властивостей. Це важливо при розробленні родовищ на великих глибинах. Наприклад, здатність до пластичних деформацій у вапняків та алевролітів з'являється вже при всебічних тисках близько 50 МПа, в ангідритів – близько 100 МПа. Пластичні деформації при значних бічних тисках пояснюються тим, що в цих умовах легше можуть проявитися внутрішні рухи та зміщення, що не призводять до порушення суцільності й виникнення тріщинуватості, тобто до руйнівних деформацій.

Досліджено поведінку гірського масиву з умістом високопластичних порід на моделі. Як модель масиву високопластичної породи був використаний парафін, що обмежувався по горизонталі трубою великого діаметра, а по вертикалі – жорсткими плитами. Як модель свердловини була використана гумова трубка, заповнена рідиною. Тиск на модель текучого

пласта створювався гідравлічним пресом, який автоматично підтримував заданий тиск протягом усього експерименту. Для вимірювання тиску в моделях свердловини і гірського масиву було використано напівпровідникові датчики об'ємного тиску, що були встановлені на різній відстані від осі свердловини. До початку експерименту модель гірського масиву з умовною свердловиною витримувалася до вирівнювання тиску в усіх точках об'єму. Потім тиск у моделі свердловини зменшували до атмосферного і свердловину герметизували. Показники датчиків тиску реєструвалися протягом усього експерименту за допомогою самописців. На рис. 1 показано графіки зміни тиску у свердловині й у масиві в координатах «тиск – час» на різній відстані від осі свердловини.

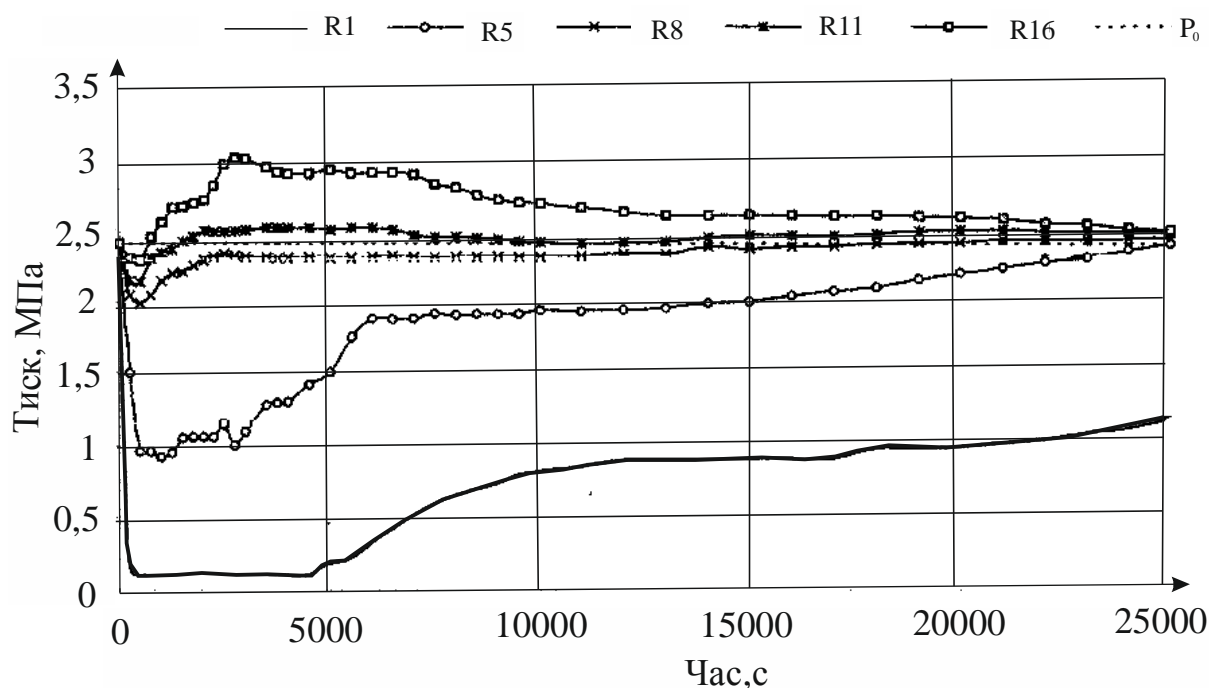


Рис. 1. Графіки зміни тиску в моделях свердловини і на різних відстанях від осі (R1-R16) свердловини в моделі пластичного пласта після зменшення тиску у свердловині до атмосферного і герметизації її залежно від часу витримки: P_0 – початковий тиск у моделі, МПа; R – радіус свердловин

Із рис. 1 видно, що при зменшенні тиску в моделі свердловини (що відповідає моменту розкриття свердловиною масиву пластичних порід) тиск знижується по всій площі масиву. При цьому при віддаленні точки від осі свердловини величина падіння тиску в масиві зменшується [6].

Після закриття свердловини характер зміни тиску в масиві на різній відстані від осі свердловини значно різниться. Якщо у свердловині й на відстані двох радіусів свердловини тиск залишається незмінним, то на відстані п'яти радіусів спостерігається спочатку стабілізація та деяке його

зменшення, а потім – збільшення. На відстані, більшій ніж $8R$ від осі свердловини, тиск зростає, а на відстані, більшій ніж $11R$, перевищує заданий. Із часом установа динаміка змінюється: тиск на периферійних датчиках починає падати, а у свердловині та присвердловинній зоні – зростати. На рис. 2 показано графіки зміни тиску у свердловині й у масиві пластичного пласта в координатах «тиск – відстань» від осі свердловини після герметизації свердловини, що відповідає стану масиву після кріплення свердловини. З рис. 2 видно, що в цьому експерименті максимальні зміни тиску в масиві пластичного пласта мають місце на відстані від осі свердловини до восьми радіусів свердловини і від восьми до одинадцяти радіусів до периферії. У зоні від восьми до одинадцяти радіусів свердловини зміни тиску незначні.

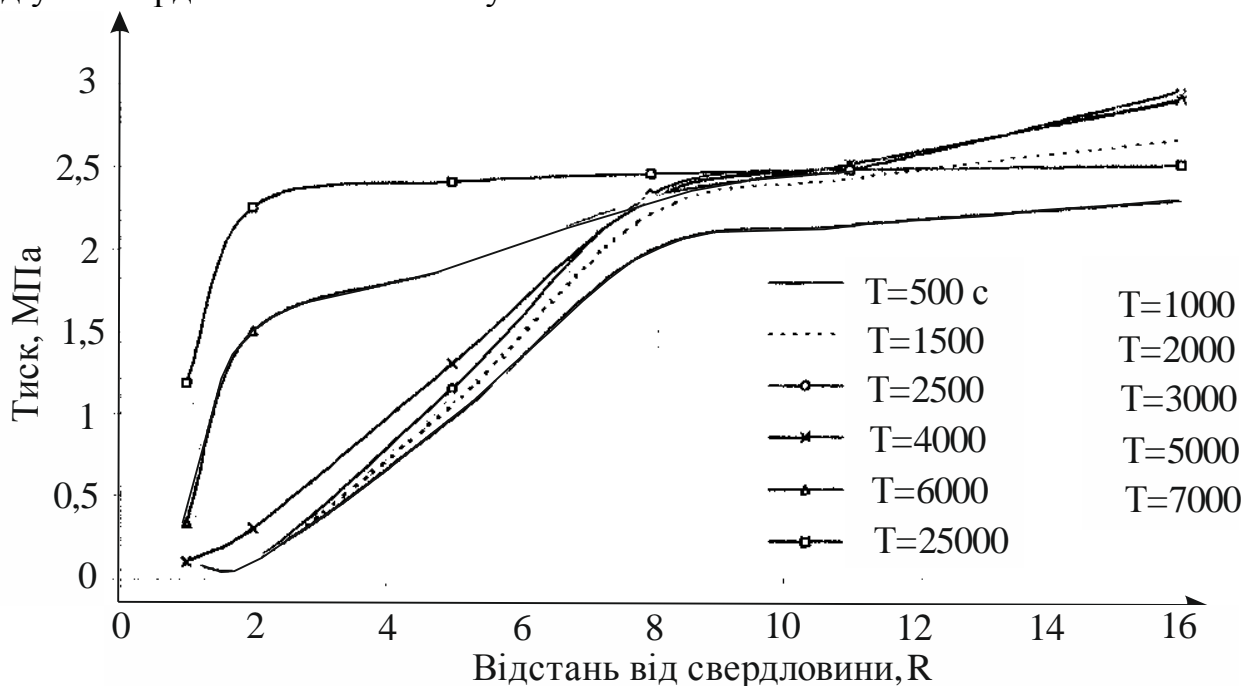


Рис. 2. Графіки зміни тиску в моделях свердловини і пластичного пласта на різних проміжках часу після герметизації свердловини залежно від відстані датчика від осі свердловини

Аналіз графіків показує, що зміни тиску в масиві моделі пластичного пласта мають імпульсний характер. Очевидно, що такий характер зумовлений періодичним накопиченням енергії в певній зоні масиву, а відтак зсуву її в бік свердловини [6].

При оцінюванні напружено-деформованого стану пластичних порід навколо свердловини необхідно врахувати термічні умови залягання порід. Складність оцінювання опору гірських порід тепловому впливу навколо отвору свердловин полягає перш за все в тому, що цей опір залежить від коефіцієнта лінійного температурного розширення матеріалу, його модуля пружності, теплопровідності, а також від закономірності розподілу

температурного поля, стану поверхні, властивостей навколишнього родовища тощо.

Наприклад, якщо тіло зазнає нерівномірного по об'єму нагрівання, то відповідні такому нагріванню температурні деформації окремих елементів стають обмеженими внаслідок того, що вільним деформаціям заважають сусідні елементи. При цьому виникатимуть напруження, розподіл яких по об'єму буде залежати від закономірності розподілу температури.

Якщо матеріал однорідний і температура по всьому об'єму тіла однакова, тоді температурні деформації всередині тіла нічим не обмежені й температурних напружень не спричинюють. Температурні напруження можуть виникати лише тоді, коли матеріал неоднорідний за температурними коефіцієнтами об'ємного розширення або внаслідок нерівності розподілу температурного поля по об'єму, а також за умови зовнішнього обмеження температурних деформацій по поверхні тіла. Отже, температурні напруження завжди задані температурною деформацією, тому нерівномірні температурні поля, на відміну від рівномірних, можуть характеризуватися зміною температурних напружень.

Оскільки частіш за все породи складаються із цементованих між собою частинок мінералів з різними фізико-термічними характеристиками, то очевидно, що навіть при рівномірних температурних полях усередині пластів гірських порід завжди є об'ємні температурні напруження. Очевидно, що останні зумовлюються не тільки температурою, але й неоднорідністю структурних складових і анізотропією їхнього теплового розширення та інших властивостей на стиках зерен або блоків зерен, з яких складається мікро- і макрооб'єми тіла. Особливо температурні напруження можуть впливати на напружено-деформований стан масиву при бурінні пластичних порід, що потрібно враховувати.

За певної неоднорідності пластичних гірських порід під дією рівномірного температурного поля виникатимуть температурні напруження за рахунок різниці фізико-термічних характеристик неоднорідних матеріалів. Такі локальні термічні напруження впливають на руйнування гірських порід під час буріння зі збільшенням глибини свердловини [7].

Висновки. Під час проведених досліджень виявлено, що розкриття пластичного пласта свердловини супроводжується зменшенням тиску в ньому. При цьому інтенсивність падіння тиску зменшується в напрямку від свердловини. При розкритті свердловиною пластичного пласта спостерігається інверсія тиску подалі від свердловини. Після герметизації свердловини тиск у масиві пластичного пласта зростає в присвердловинній зоні та зменшується в периферійній і з часом вирівнюється по всій площі. Зміни тиску в пластичній породі мають імпульсний характер. Термічні напруження, які мають назву залишкових, впливають на руйнування гірських порід під час буріння зі збільшенням глибини свердловини.

Література

1. Фоменко И.К. Математическое моделирование напряженного состояния инженерно-геологического массива, сложенного анизотропными горными породами: на примере околоствольного массива Кольской сверхглубокой скважины: автореф. дис. на соискание науч. степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.08 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение» / И.К. Фоменко. – Москва, 2001. – 139 с.
2. Папуша А.Н. К вопросу расчета напряженно-деформированного состояния горного массива в окрестности сверхглубокой вертикальной скважины / А.Н. Папуша, Д.П. Гонтарев // Весник МГТУ. – 2010. – №5. – С 81 – 93.
3. Барановський Е.М. Головне завдання геомеханіки у вирішенні проблем глибокого буріння / Е.М. Барановський, В.М. Мойсишин // Розвідка та розробка нафти. і газ. родовищ. – 2006. – № 4. – С. 5 – 9.
4. Барановський Е.М. Комбіноване руйнування гірських порід при бурінні глибоких свердловин / Е.М. Барановський, В.М. Мойсишин // Наук. вісн. Івано-Франків. нац. техн. ун-ту нафти і газу. – 2006. – № 1. – С. 26 – 30.
5. Spenser E., Tech M.Sc. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces // Geotechnique, 17.–P. 11 – 26.
6. Дуда З.М. Результати дослідження об'ємно-напруженого стану навколосвердловинного масиву з вмістом пластичних порід / З.М. Дуда, П.І. Світалка // Нафта і газ України: зб. наук. праць: матеріали VI Міжнародної наук.-практ. конф. «Нафта і газ України – 2000». – Т.2.– Івано-Франківськ, 2000.– С. 44 – 46.
7. Мочернюк Д.Ю. Оцінка впливу температури на зміну стану гірських порід навколо стовбура свердловини / Д.Ю. Мочернюк, В.Б. Чернов // Нафта і газ України: зб. наук. праць: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. «Нафта і газ України – 2000».– Т.2. – Івано-Франківськ, 2000.– С. 43 – 44.

Надійшла до редакції 20.11.2014

© П.І. Світалка, З.М. Дуда, В.В. Соловйов, О.В. Бандуріна

УДК 622.245

П.И. Свиталка, к.т.н., с.н.с. ПО Укр ДГРИ

З.Н. Дуда, ПО УкрДГРИ

В.В. Соловьев, д.х.н., профессор

Е.В. Бандурина, к.т.н., доцент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОКОЛОСКВАЖИННОГО МАССИВА С СОДЕРЖАНИЕМ ПЛАСТИЧЕСКИХ ПОРОД

Проведены экспериментальные исследования изменения свойств пород в зависимости от давления в скважине и в массиве пластического слоя на разном расстоянии от скважины во времени. Проанализировано влияние температурных напряжений на разрушение пластичных пород в массиве при бурении.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, реологические свойства, скважина, ствол, пластическая порода.*

UDC 622.245

P.I. Svitalka, Ph. D., director Poltava UkrDGRI

Z.M. Duda, Poltava UkrDGRI

V.V. Soloviev, D.Sc., Professor

O.V. Bandurina, Ph. D., associate professor

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

RESEARCH OF STRESS-STRAIN STATE OF NEAR WELLBORE MASSIF CONTAINING PLASTIC ROCKS

Experimental studies of changes in rock properties depending on the pressure in the well and in the massif of plastic layer at different distances from the well over time were carried out. The influence of thermal stress on the destruction of the plastic rocks in the massif during drilling was analyzed.

Keywords: *stress-strain state, rheology, well, trunk, plastic rock.*