

УДК 622.245

*П.І. Світалка, к.т.н., с.н.с. ПВ Укр ДГРІ
В.В. Соловійов, д.х.н., професор
О.В. Бандуріна, к.т.н., доцент*

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ СОЛЯНИХ ПОРІД ЗАЛЕЖНО ВІД ШВИДКОСТІ НЕПРУЖНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Визначено міцність залежно від швидкості непружної деформації в стадії встановленої повзучості при різних напружених станах з урахуванням розуцільнення.

Ключові слова: *напружено-деформований стан, деформація, свердловина, стовбур, соляна порода.*

УДК 622.245

*П.И. Свиталка, к.т.н., с.н.с. ПО Укр НГРИ
В.В. Соловьев, д.х.н., профессор
Е.В. Бандурина, к.т.н., доцент*

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ СОЛЯНЫХ ПОРОД В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ НЕУПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Определена прочность в зависимости от скорости неупругой деформации в стадии установленной ползучести при различных напряженных состояниях с учетом разуплотнения.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, деформация, скважина, ствол, соляная порода.*

UDC 622.245

*P.I. Svitalka, PhD, director Poltava UkrDGRI
V.V. Soloviev, ScD, Professor
O.V. Bandurina, PhD, Associate Professor
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

METHODS AND RESULTS DETERMINATION OF STRENGTH HYDROCHLORIC ROCKS DEPENDING ON THE SPEED OF INELASTIC STRAIN

A determination of strength depending on the speed of inelastic deformation under creep installed at various stressful conditions with regard to thinning.

Keywords: *mode of deformation, deformation, well, trunk, salt rock.*

Вступ. Актуальною проблемою нафтогазової промисловості є забезпечення надійної експлуатації нафтогазових свердловин, зокрема встановлення напружено-деформованого стану свердловин [1].

При експлуатації деформації стовбура свердловин можуть мати масовий характер і навіть досягти критичних значень.

Деформацію обсадних колон поділяють на два види. Перший вид – радіальні сили, які діють на стінки обсадних колон. Переважно їх спричиняють [2]: перепади гідростатичних тисків унаслідок дії промивальної рідини на стінки обсадної колони та внутрішній тиск у трубі; тиски пластичних порід (пливунів, глини тощо). Другий вид осьовий – вид навантажень, котрий спричиняють: власна вага обсадної колони; температурні зміни в процесі експлуатації свердловин.

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. При аналізі напружено-деформованого стану свердловин використовують різні моделі. Д.Д. Івлєв розглядає напружений стан виробок у похилошаруватому масиві за допомогою теорії повзучості гірських порід. Пружні постійні деформації замінюються за принципом В. Вольєрра – Ю.Н. Работнова відповідними тимчасовими операторами [3].

В.М. Тибилєвич при розрахунках напружено-деформованого стану враховує пружні деформації і відносно малі деформації повзучості при навантаженнях у межах 20 – 70% від руйнівних, тобто розглядаються малі деформації, тоді як у реальних умовах існують великі деформації повзучості, пластичності, в'язкості гірських порід [4].

До сьогодні дослідники, розв'язуючи контактну задачу взаємодії труби з породою, вважають властивості породи незмінними й основну увагу приділяють можливим схемам навантаження. У розрахунку нерівномірного навантаження при контактній взаємодії враховують міцнісні властивості труби та породи в стані пружної взаємодії. Однак виконані експериментальні дослідження непружно-деформованих соляних порід указують на зміну їх фізичних властивостей.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Установлено, що при тривалому деформуванні кам'яної солі відбувається її перехід у пластичний стан, коли сума головних напружень у 1,5 – 2 рази менше, ніж при швидкому навантаженні. При цьому інтенсивність деформацій зсуву, що відповідає межі тривалої міцності, лінійно залежить від суми головних напружень аж до настання пластичного деформування [5].

Раніше проведеними дослідженнями УкрНДІсіль доведено, що повзучість кам'яної солі апроксимується з достатнім ступенем точності рівнянням Вольєрра – Работнова з внесеною в нього функцією залежності між напруженням і деформацією. Установлена залежність реологічних параметрів від діючих напружень дає можливість подати рівняння стану кам'яної солі у вигляді функції, залежної від однієї змінної σ . Як показують численні дослідження, кам'яна сіль відповідає в'язко-

пружнопластичній моделі. При цьому в'язкий елемент виконує функцію затримки у часі пружних і пластичних деформацій [6].

Виникає запитання: як впливає розуцільнення на силові можливості породи при контактній взаємодії? Методів вимірювання міцності твердих тіл у процесі непружної деформації не існує зовсім.

Та при дослідженні міцності не враховано показник щільності породи.

Тому **метою роботи** є визначення міцності залежно від швидкості непружної деформації в стадії установленної повзучості при різних напружених станах з урахуванням розуцільнення.

Основний матеріал і результати. Соляна тектоніка проявляється у формі невеликого здуття (так званих соляних подушок) через соляні діапіроїди (куполоподібні підняття збільшеної потужності соляних ядер, але без зрушення надсолевих шарів) до соляних діапирів (куполів із соляними ядрами, надсолевими шарами, які часто виходять на денну поверхню). Крім цього, при подальшому розвитку сольової тектоніки можуть з'являтися соляні вали й антикліналі, увінчані соляними куполами. Ці позитивні складки можуть простягатися на десятки і навіть сотні кілометрів. Склепіння соляних куполів часто розбиті скидами розтягування і тому ускладнені грабенами [7].

Прийняття адекватних проектних рішень із проблеми тривалої стійкості підземних резервуарів у соляних відкладах при їх будівництві та експлуатації ускладнюється особливостями механічної поведінки кам'яної солі, схильної до прояву реологічних властивостей, залежно від виду напруженого стану і величин діючих у приконтурному масиві напружень.

Реологічні властивості порід – сукупність властивостей, які визначають здатність гірських порід змінювати у часі напружено-деформований стан у полі дії механічних сил. До основних реологічних властивостей гірських порід належать: пружність, пластичність, міцність, в'язкість, повзучість, релаксація напружень. Вони характеризують зміну (зростання) в часі деформацій у гірських породах при постійному напруженні (явище повзучості) або зміну (зменшення) напружень при постійній деформації (явище релаксації).

Повзучість і релаксація напружень пов'язані з переходом пружних деформацій у пластичні, незворотні. Прояви реологічних властивостей гірських порід значною мірою залежать від типу породи, вологості, тріщинуватості, але вирішальним є рівень напруженого стану.

Одна з основних реологічних властивостей порід – повзучість – явище поступового зростання деформації породи в часі при постійному напруженні (рис.1). Зовні явище повзучості схоже на пластичне деформування. Але останнє відбувається тільки за межами зони пружності та при зростаючому напруженні, в той час як повзучість може виявлятися також при напруженнях, що не перевищують межі пружності під час достатньо тривалої дії навантаження.

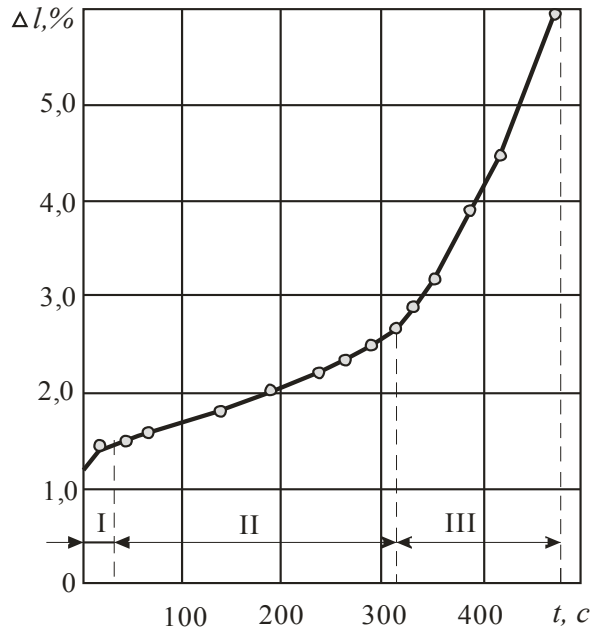


Рис. 1. Графік ідеальної повзучості кам'яної солі:

- I –** звичайний процес миттєвої деформації в момент навантаження породи;
- II –** сталий стан пластичної течії при постійному навантаженні (повзучості);
- III –** стадія зростання швидкості деформації та настання моменту руйнування породи

Ідеальна крива зміни деформації породи при тривалому впливі навантаження складається із трьох відрізків, які відповідають трьом основним стадіям деформації (рис. 2).

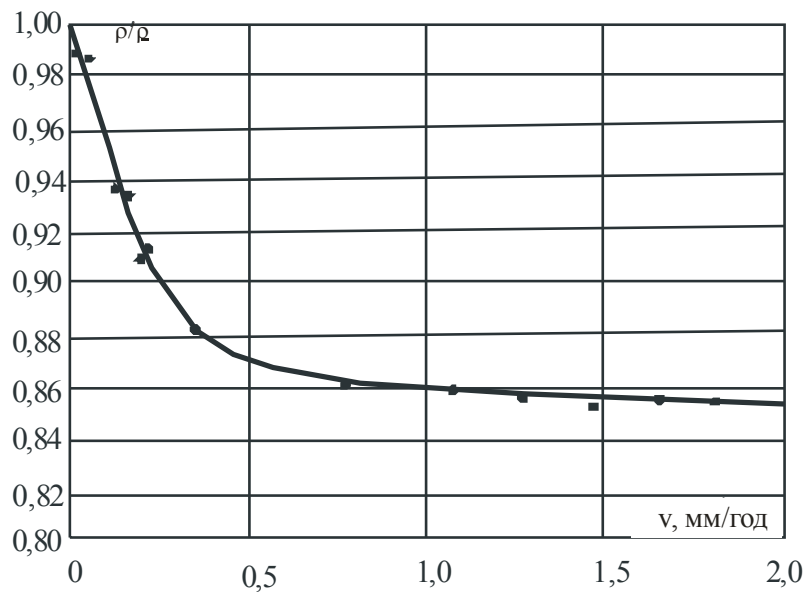


Рис. 2. Залежність густини кам'яної солі від швидкості деформації

Тріщини розвантаження з'являються при збільшенні об'єму порід після зняття з них навантаження. Таке збільшення об'єму може бути обумовлене гідратацією або проявом пружних деформацій (розущільненням) порід. При цьому виникають значні внутрішні напруження в породі та, як наслідок, з'являються тріщини в породах.

В результаті численних досліджень повзучості кам'яної солі при різних напруженнях від $0,05 < \sigma$ до $0,7 < \sigma$ і вимірювань її щільності в стадії встановленої повзучості одержали залежність зміни щільності як функцію швидкості повзучості $\rho = f(v)$ (рис. 2.) [1].

Досліджуючи щільність у будь-який момент часу встановленої повзучості при заданому напруженні, установили, що щільність у період встановленої повзучості є постійною величиною. Випробовуючи зразки на однісне стискання з наперед відомою щільністю, визначили залежність міцності при однісному стисканні як функцію щільності $\sigma = f(\rho)$ (рис. 3). Визначивши відсутність зміни щільності при сталій швидкості повзучості, перейшли до залежності $\sigma v = f(v)$ (рис. 4).

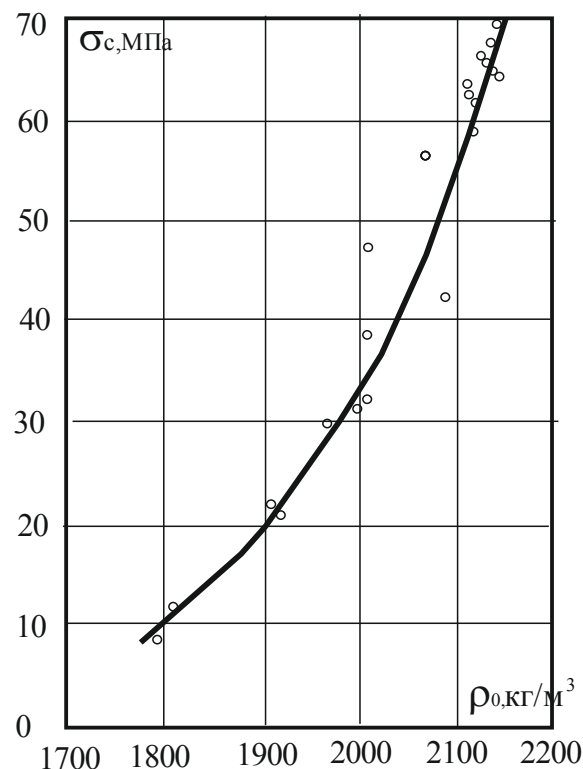


Рис. 3. Залежність межі міцності кам'яної солі при однісному стисканні від її густини

Залежність $\sigma v = f(v)$ пов'язує між собою міцнісні та реологічні параметри соляних порід з умовами навантаження й, очевидно, є паспортною характеристикою міцності породи в стадії непружної деформації залежно від швидкості деформації.

Як видно з рис. 4, тимчасовий опір одновісному стисканню кам'яної солі при швидкості непружної деформації, наприклад 0,2 мм/год, знижується на 40% від її початкового значення в природному стані. Тобто в розрахунках задачі контактної взаємодії труби з галітом необхідно замість $\sigma_c = 60 - 70$ МПа застосувати $\sigma_c = 0,6(60 - 70)$ МПа.

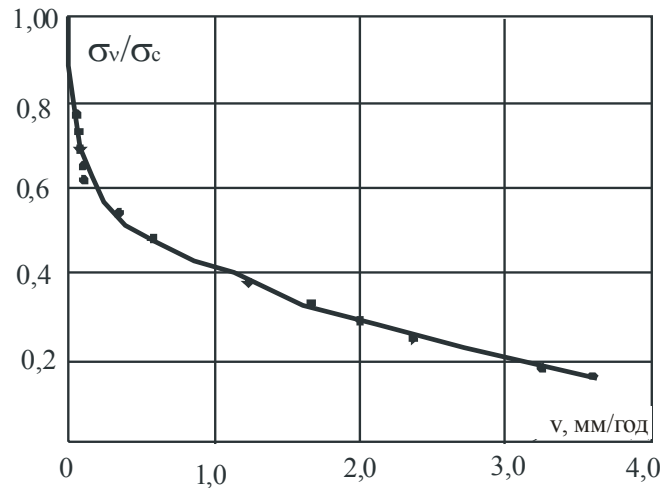


Рис. 4. Залежність міцності кам'яної солі при одновісному стисканні від швидкості деформації

Висновки. Дослідження явища повзучості порід показує, що існує загальна закономірність зміни властивостей порід із часом від дії навантаження. Тобто чим довший вплив навантаження на породи, тим слабкішими стають пружні властивості порід, зменшується межа пружності й тим сильніше виявляються їх пластичні властивості.

Ця закономірність має істотне значення, тому що при розробленні родовищ можна зіткнутися з найрізноманітнішими за тривалістю процесами впливу навантажень на породи, починаючи від миттєвих (підривання, відколювання, дроблення) і закінчуючи навантаженнями, що тривають протягом декількох років (навантаження на покрівлю підземних виробок).

Якщо тривалість дії навантаження й період релаксації породи відносно однакові, то порода набуває пластичних властивостей. У результаті цього виникають зсувні та просадкові явища, небажаний перерозподіл напружень у масиві внаслідок гірського тиску і руйнування ціликів, виробок тощо.

Тимчасовий опір одновісному стисканню кам'яної солі при швидкості непружної деформації, наприклад 0,2 мм/год, знижується на 40% від її початкового значення в природному стані. І тому в розрахунках задачі контактної взаємодії труби з галітом необхідно замість $\sigma_c = 60 - 70$ МПа застосувати $\sigma_c = 0,6(60 - 70)$ МПа.

Методика дослідження напружено-деформованого стану свердловин справедлива для інших соляних порід, наприклад бішофіту. Результати визначення міцності соляних порід залежно від швидкості непружної деформації підтверджено практичними розрахунками взаємодії 245-міліметрових обсадних колон при кріпленні розрізів бішофіту, галіту та галоперіту.

Література

- 1. Світалка, П.І. Методика та результати визначення міцності соляних порід в залежності від швидкості непружної деформації / П.І. Світалка, В.В. Соловійов // Нафта і газ України: зб. наук. праць: матеріали VI Міжнародної наук.-практ. конф. «Нафта і газ України – 2000». – Т.2. – Івано-Франківськ, 2000. – С. 46 – 48.*
- 2. Олеськів, Р.І. Аналіз моделей визначення напружено-деформованого стану обсадних колон свердловин на основі геодезичних вимірювань / Р.І. Олеськів // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 78. – С. 180 – 182.*
- 3. Ивлев, Д.Д. Метод возмущений в теории упругопластического тела / Д.Д. Ивлев, Л.В. Ершов. – М.: Наука, 1978. – 208 с.*
- 4. Тибилевич, В.М. Анализ напряженно-деформированного состояния вблизи скважины в телах из трансверсально изотропного упругого и вязкоупругого материалов: автореф. дис. на соискание науч. степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 Механика деформируемого твердого тела / В.М. Тибилевич. – Москва, 1999. – 24 с.*
- 5. Тавостин, М.Н. Обоснование и разработка методов определения реологических параметров каменной соли для оценки устойчивости подземных хранилищ: автореф. дис. на соискание науч. степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20, 25.00.22 Геомеханика, разрушение пород взрывом, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика / М.Н. Тавостин. – Москва, 2001. – 22 с.*
- 6. Пирін, С.М. Вдосконалення технології розробки потужних пластів кам'яної солі в умовах ДВО «Артемсіль»: автореф. дис. на здобуття наук. ступіня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.02 – Підземна розробка родовищ корисних копалин / С.М. Пирін. – Донецьк 2007. – 25 с.*
- 7. Хаїн, В.Е. Соляна тектоніка. Гірська енциклопедія / В.Е. Хаїн. – М.: Недра, 1989. – Т. 4. – С. 629 – 630.*

Надійшла до редакції 17.09.2013

© П.І. Світалка, В.В. Соловійов, О.В. Бандуріна