

## МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМУ ГІДРОГЕОДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ ОСНОВНОЇ ПОКРІВЛІ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ НАД МЕХАНІЗОВАНИМ КРІПЛЕННЯМ ОЧИСНОГО ВИБОЮ

На основі аналізу результатів моделювання напружено-деформованого стану шаруватого породного масиву, що вміщує обводнені шари порід в покрівлі очисної виробки, розкритий механізм осідання на жорстку основу механізованого кріплення та встановлена залежність його характеру від рівня гідравлічного навантаження та положення навантажених поверхонь розшарування відносно очисного вибою.

На основе анализа результатов моделирования напряженно-деформированного состояния слоистого породного массива, который содержит обводненные слои пород в кровле очистной выработки, раскрыт механизм оседания на жесткое основание механизированного крепления и установлена зависимость его характера от уровня гидравлического нагружения и положения нагруженных поверхностей расслоения относительно очистного забоя.

The mechanism of powered support subsidence on rigid base revealed by analyzing the simulation results of the stress-strain state of a layered rock mass, which holds flooded rock layers in the roof of stope. The dependence of the subsidence nature on the level of hydraulic load and the position the loaded lamination surfaces relative to stope is determined.

**Стан проблеми.** Існування проблеми управління станом породних покрівель при відробці вугільних пластів обумовлено складністю взаємодії технічних об'єктів – підготовчих і очисних виробок з геологічним середовищем за умови неоднорідності останнього і впливу на його поведінку гідравлічної складової. До прикладів порушення технологічного процесу вуглевидобутку, виникнення аварійних ситуацій і пов'язаних з цим ресурсних і фінансових втрат можна віднести випадки посадки механізованого кріплення на "жорстко", характерні для відробки вугільних пластів в гірничо-геологічних умовах шахт Західного Донбасу.

Застосування для розробки прогнозів геомеханічного стану підроблюваного очисною виробкою породного масиву чисельних математичних моделей забезпечує можливість врахування переважної більшості чинників як природного, так і технологічного характеру, які визначають напружено-деформований стан масиву порід. Результативність таких прогнозів підтверджується існуванням відомих схем управління покрівлями, до яких можна віднести, наприклад, гідравлічне розшарування гірських порід.

Однак, в більшості випадків поза межами уваги залишається гідравлічний чинник, роль якого може бути визначальною у виникненні геодинамічних проявів при веденні підготовчих і очисних робіт. У випадку застосування відомих математичних моделей, реалізованих на базі методів кінцевих різностей або кінцевих елементів, для оцінки напружено-деформованого стану порушених масивів, отримання рішень з комплексним урахуванням фазових складових гірського масиву є досить складне і пов'язане з нестійкістю обчислювального процесу. В тривимірних моделях вказані недоліки поглиблюються, що перешкоджає можливості розробки точних прогнозів гідрогеомеханічного стану порушених

масивів і обґрунтуванню на цій основі ефективних схем управління породними покрівлями.

**Методика досліджень.** Для вирішення задачі розробки схем управління станом гідравлічно навантажених породних покривель, характерних для умов Західного Донбасу, доцільним уявляється поєднання планово-профільних геофільтраційних і плоских геомеханічних моделей [1,2], до яких можна віднести відомі і поширені спеціалізовані програмні комплекси MIF, MODFLOW, FASE2, PLAXIS, GEO5 та ін. Необхідною умовою вибору геомеханічної моделі слід вважати можливість відображення неоднорідної локально дискретної будови породної товщі, що повинно забезпечувати можливість моделювання процесів зрушення та розшарування при відробці вугільного пласта.

Застосування чисельних моделей, адаптованих до розгляду локально дискретних середовищ, дозволило оцінити умови формування гідравлічного переважаних зон в межах підроблених очисною виїмкою шаруватих породних масивів і розкрити механізм осідання на жорстку основу механізованих кріплень з потужними технічними характеристиками.

До розгляду були прийняті гірничо-геологічні умови відробки вугільного пласта  $C_8^H$  шахтою "Тернівська", виїмкова потужність якого сягала 2,0 м. Вибір досліджуваного об'єкта обумовлений наявністю достатнього обсягу інформації, отриманої при проведенні досліджень гідрогеодинамічних проявів у масиві гірських порід при його підробці за умови наявності у покрівлі вуглевміщуючої товщі бучакського водоносного горизонту [3].

Чисельна модель породного масиву, що вміщує вугільний пласт, представлена вертикально неоднорідним суцільним середовищем, в якому наявність локально дискретних зон згідно геолого-літологічної будови враховується введенням на поверхнях літологічних різностей контакт-елементів зі зниженими показниками жорсткості і властивостей міцності.

Деформаційні параметри і параметри міцності літологічних різностей породного масиву встановлені за даними розвідки шахтного поля і характеризуються наступними діапазонами величин: міцність порід на одноосьове стискання – 22,3...37,9 МПа, модуль деформації –  $3,5 \cdot 10^3 \dots 2,0 \cdot 10^4$  МПа, коефіцієнт Пуассона – 0,10...0,25 МПа, питома вага – 13,5...2,30 кН/м<sup>3</sup>.

Процедура імітації виїмки корисної копалини в чисельній моделі полягала у завданні елементам моделі, що описують вироблений простір, деяких фіктивних значень модуля деформації і параметрів міцності. При величині розущільнення порід в зоні порушення до 1,1...1,4 від початкового їх об'єму осідання шарів породної товщі за межами зони активних зрушень оцінюється коефіцієнтом підробки, який для умов Західного Донбасу становить близько 0,8...0,9 $m$ , де  $m$  - виїмкова потужність вугільного пласта. Для умов, що розглядаються, задовільні значення отримані при величині модуля деформації геомасиву в межах порушеної зони на рівні 1,0...2,0 МПа.

Методика моделювання передбачала варіантне рішення задачі про напружено-деформований стан масиву, що підроблюється очисною виїмкою, з урахуванням знижених відносно природних властивостей міцності в межах площин літологічних контактів як у зневодненому масиві, так і в умовах дії гідрос-

татичного навантаження в площині розшарувань. У визначених варіантах фізико-механічні параметри моделі відповідали наведеним вище значенням, а збереження їх незмінними в першому і другому варіантах обумовлено необхідністю виключення їх впливу як діючого фактора. Таким чином, єдиними параметрами, які характеризували зміни напружено-деформованого стану модельованого середовища в умовах дії гідравлічного навантаження, були показники жорсткості і міцності в площині літологічних контактів.

Відомо, що потрапляння області масиву в зону зрушень приводить до формування тріщин розшарування і втрати міцності порід в площині їх розташування. При цьому на ділянці дії розтягуючих напружень в площині розшарування будуть мати місце майже нульові значення жорсткості і параметрів міцності. На ділянці стискання механічною характеристикою, яка визначає взаємне переміщення шарів товщі, є кут внутрішнього тертя. Його значення також не буде величиною постійною, оскільки наявність у вуглепородній товщі водоносних порід призводить до зволоження берегів тріщин, що утворюються, і зниження опору прослизання. В непорушеному масиві, зважаючи на відсутність фактичних даних щодо величини кута внутрішнього тертя, правомірним буде його завдання рівним мінімальному значенню, встановленому для оточуючих порід. Для розшарованої товщі його величина може бути визначена виходячи з наступних міркувань.

В роботі [4] результати досліджень межі міцності на розрив поверхонь ослаблення охарактеризовані за вологістю зразків. Причому, наведені величини згідно оцінюваному типу поверхонь мають мінімальне значення вологості 5%. Відносна різниця між максимальною і мінімальною величинами межі міцності складає 40%. Тому, за аналогією з міцністю на розтягнення, кут внутрішнього тертя в площині контактів, враховуючи зволоження берегів тріщин модельованої товщі при її розшаруванні, заданий рівним  $0,6\varphi$ , де  $\varphi$  - значення кута внутрішнього тертя в площині контакту до розшарування.

Таким чином, врахування розшарування масиву гірських порід досягається завданням знижених відносно початкових значень параметрів міцності, які в чисельній моделі склали величини відповідно  $C=0,00001$  МПа і  $\varphi=15^\circ$ . Слід відзначити, що розрахована величина кута внутрішнього тертя в площині контакту добре погоджується з аналогічною величиною ( $\varphi=13^\circ$ ), яка встановлюється за розрахунком зрушень шаруватої товщі в умовах відсутності дослідних даних.

Важливе значення при дослідженні на чисельних моделях напружено-деформованого стану підробленого масиву має визначення положення у вертикальному розрізі площин, в межах яких найбільш вірогідні зсув або розшарування.

Для визначення потужності шару  $h_k$ , в межах якого не відбувається зсувів порід на внутрішніх контактах, В.М.Земісєвим, на основі аналізу напружено-деформованого стану шарів, що прогинаються, запропонована формула [5]

$$h_k < \frac{4C^2}{\gamma\sigma_{cm}}, \quad (1)$$

де  $C$  - питоме зчеплення порід за нашаруванням;  $\sigma_{cm}$  - межа міцності на стискання;  $\gamma$  - питома вага порід.

Для умов, що розглядаються, і величинах міцності порід на одноосьове стискання 22,3...37,9 МПа та питомого зчеплення в площині контакту 0,7...1,0 МПа, гранична товщина  $h$  шару порід складає 3,5...4,5 м. Таким чином, при заданій у моделі потужності шарів  $h=3,0...6,0$  м практично відсутні умови для формування додаткових зсувів, що забезпечує можливість максимального врахування дії контактних площин у варіантах, що розглядаються.

Оцінка дії гідростатичного навантаження в межах площин розшарування підробленого породного масиву на умови ведення очисної виїмки полягала у визначенні вертикальних переміщень безпосередньої покрівлі в межах переднього та посадкового ряду гідравлічних стійок механізованого кріплення. Діапазон змін гідростатичного тиску в контурах поверхонь розшарування обмежувався величиною напору в бучакському водоносному горизонті, який для умов шахти "Тернівська" становив близько 90,0 м.

**Результати досліджень.** На рис. 1 наведена схема деформування породної покрівлі в умовах підробки її очисною виробкою. Вертикальні переміщення гідравлічних стійок за умови відсутності гідравлічного навантаження в межах сформованих поверхонь розшарування знаходилися в межах 0,20...0,30 м. Прогин аргілітових шарів в межах інтервалу їх зависання для наведеного варіанту рішення відповідає початку процесу зрушення безпосередньої покрівлі за очисним вибоєм.

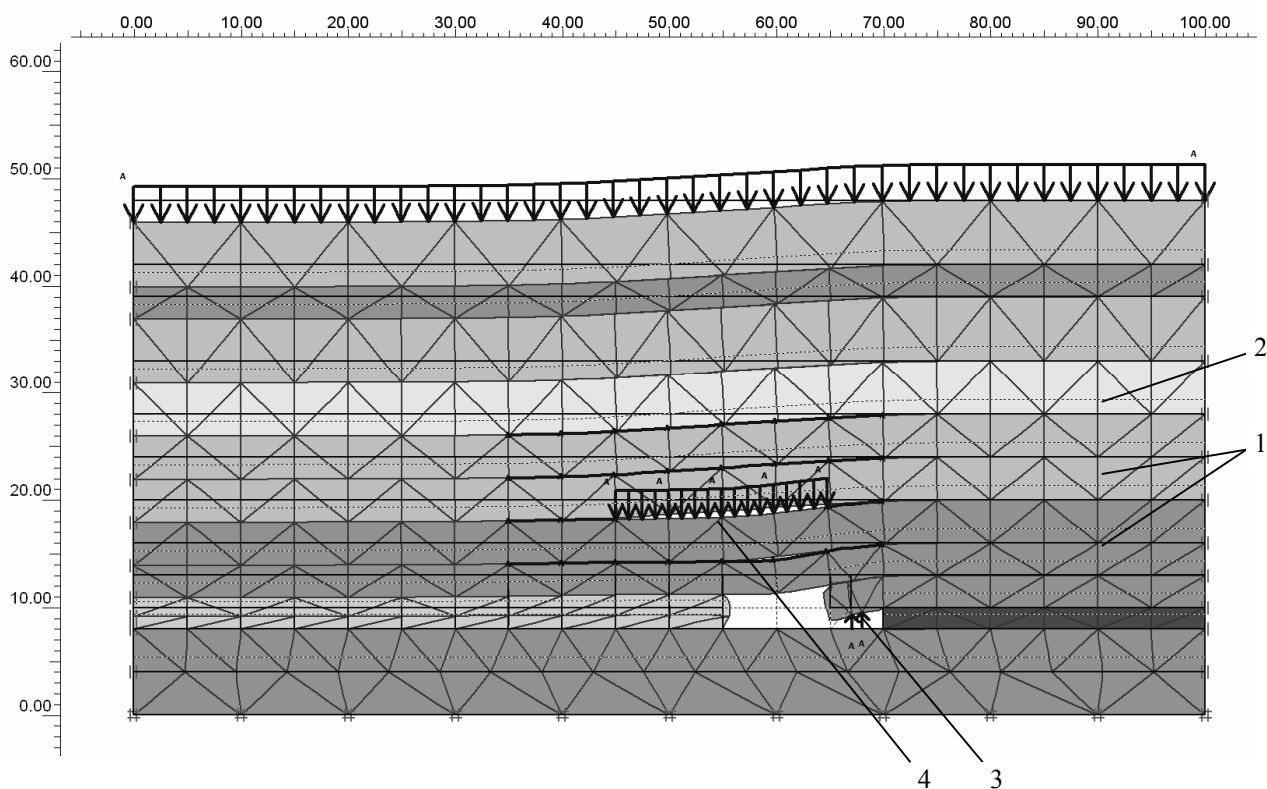


Рис. 1. Характер деформування модельованого масиву гірських порід за умови підробки його очисною виїмкою: 1 – водотривкі літологічні шари; 2 – водоносний пісковик; 3 – очисна виробка; 4 – розшарування на контакті порідної покрівлі

Як видно з рис. 1, в межах безпосередньої покрівлі і на контактах алевроліт-аргіліт, алевроліт-пісковик в основній покрівлі формуються тріщини розшарування, які за рахунок порушення породних шарів мають гідравлічний зв'язок з водовміщуючими пісковиками основної покрівлі. В даному випадку утворення локально дискретних зон в межах суцільного середовища модельованої товщі створює умови для виникнення гідравлічно навантажених контурів в границях тріщин розшарування.

Врахування гідростатичного навантаження в межах визначених контурів в чисельній моделі здійснювалось завданням силової дії у вузлах контакт-елементів відповідно до можливого діапазону гідравлічних напорів. Зважаючи на характер гідродинамічних процесів в порушеному породному масиві, до особливостей яких відноситься формування динамічних контурів стоку в зоні очисного вибою, що рухається, варіантами рішень передбачалось завдання рівня гідравлічного навантаження від його нульового значення (для повністю здренованого контуру) до максимально можливого – на рівні п'єзометричного напору в розташованому вище бучакському водоносному горизонті, гідравлічно зв'язаному з пісковиками основної покрівлі.

За результатами розгляду отриманих рішень встановлено, що гідравлічне навантаження в площині розшарування у підшві основної покрівлі забезпечує розвиток додаткового навантаження на контурі гідравлічних стійок механізованого кріплення, в результаті якого додаткове осідання контуру кріплення сягає величин 0,45...0,70 м.

В розглянутому діапазоні величин гідравлічного навантаження залежність осідань оцінюваного контуру від величини гідростатичного тиску характеризується графіками переміщень точок породної покрівлі на контурі механізованого кріплення, наведеними на рис. 2.

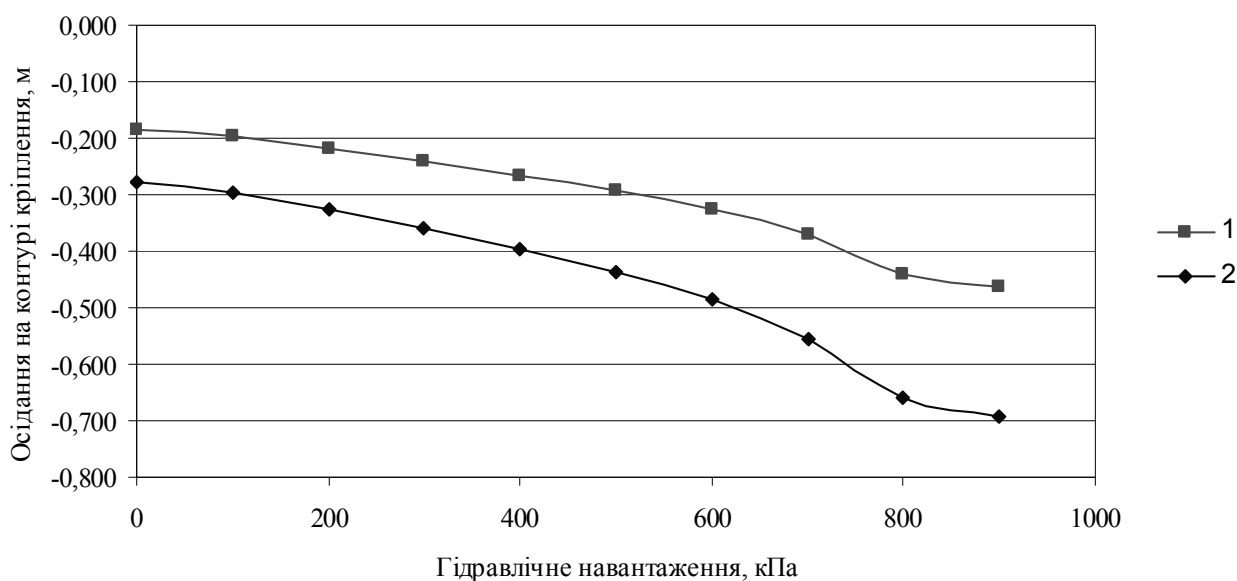


Рис. 2. Залежність осідання породної покрівлі на контурі механізованого кріплення від рівня гідравлічного навантаження (у площині на відстані 5 м, де  $m$  - виїмкова потужність вугільного пласта, м): 1 – передній ряд гідравлічних стійок; 2 – посадочний ряд гідравлічних стійок

Слід відзначити, що при досягненні максимального розрахункового навантаження, що дорівнює 900 кПа в підшві основної покрівлі на відстані 5<sup>т</sup> в межах зони взаємодії механізованого кріплення з безпосередньою покрівлею, відбувається формування руйнівних деформацій порід покрівлі з втратою їх несучої здатності.

Аналогічний характер мають осідання стійок механізованого кріплення при формуванні гідравлічно навантажених контурів в межах площин розшарування, різновіддалених від покрівлі вугільного пласта, що виймається. Однак, зі збільшенням відстані від покрівлі вугільного пласту до площини розшарування відбувається зменшення впливу гідравлічного навантаження на осідання точок верхнього контуру механізованого кріплення, а максимальні значення осідань цього контуру знаходяться в діапазоні 0,30...0,50 м.

Залежність впливу просторового положення гідравлічно навантажених площин розшарування на характер взаємодії порід покрівлі і механізованого кріплення ілюструється рис. 3.

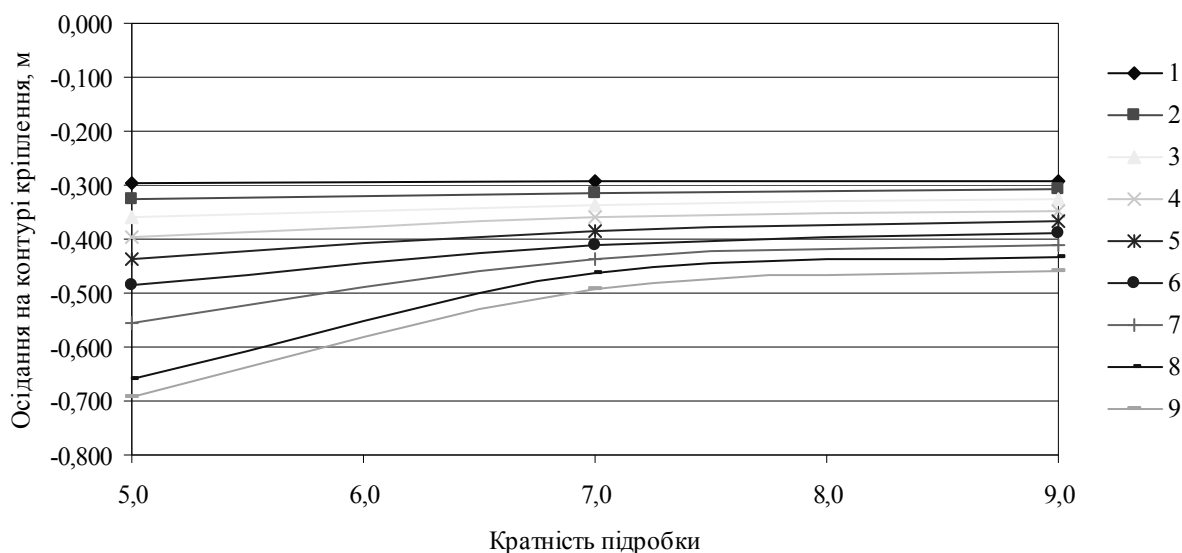


Рис. 3. Залежність осідання породної покрівлі на контурі механізованого кріплення від відносної відстані до площини розшарування: 1...9 – гідралічне навантаження від 100 до 900 кПа (з кроком 100 кПа)

Видно, що осідання точок в межах підтримуваного механізованим кріпленням контуру визначається рівнем гідравлічного навантаження і відстанню до площини розшарування, причому, інтенсивність осідання зростає зі збільшенням гідравлічного навантаження в межах найбільш наближених до очисного вибою контурів розшарування.

**Висновки.** Встановлені закономірності у формуванні гідродинамічного режиму в межах порушеного підробкою масиву дозволяють за результатами чисельного гідрогеомеханічного моделювання визначити рівень впливу гідравлічного перевантаження, що створюється на контурах локально дискретних поверхонь розшарування в межах безпосередньої та основної покрівель очисної виробки, на характер і розподіл навантаження на механізоване кріплення лави,

та визначити основні напрямки технологічної дії на гідравлічну складову напружено-деформованого стану породної покрівлі, що є визначальною.

**Результати.** Дослідження закономірностей формування гідрогеомеханічного стану гідравлічно перевантажених масивів порід складають основу для розробки схем управління породними покрівлями та обґрунтування їх параметрів, що є актуальним для забезпечення безаварійної відробки вугільних пластів в складних гірничо-геологічних умовах шахт Західного Донбасу.

#### Список літератури

1. Садовенко И.А. Синтезирование численных моделей при решении задач управления геофильтрационным состоянием горного массива / И.А. Садовенко // Известия вузов. Горный журнал. – 1991. - № 12. – С. 19-22.
2. Садовенко И.А. Исследование геофильтрационного состояния подрабатываемого горного массива на геомеханических моделях / И.А. Садовенко, В.И. Тимошук // Известия вузов. Геология и разведка. – 1991. - № 2. – С. 92-97.
3. Садовенко И.А. Экспериментальные исследования защитных свойств горных пород в Западном Донбассе / И.А. Садовенко, В.И. Тимошук, А.А. Матвиенко // Известия вузов. Горный журнал. – 1990. - № 2. – С. 3-6.
4. Безазьян А.В. Пластовые отдельности и типизация поверхностей ослабления в породах нижнего карбона Западного Донбасса / А.В. Безазьян, И.А. Садовенко, И.М. Никитина // Уголь. - 1986. - N 7. - С. 55-56.
5. Земисев В.Н. Научное обоснование методов прогноза деформаций горных пород и земной поверхности при подземной разработке угольных пластов в сложных горно-геологических условиях: Автореф. дис. ... докт. техн. наук.: 05.15.01. - Л., 1989. - 38 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ковалевською І.А.  
Надійшла до редакції 21.09.2012*

УДК. 622.278

И.А. Садовенко, Д.В. Рудаков, А.В. Инкин

### **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕПЛООВОГО ПОЛЯ ВОКРУГ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА**

Разработана математическая модель фильтрации и теплопереноса в породной кровле подземного газогенератора при выгазовывании угольного пласта. По результатам моделирования установлена конвективная и кондуктивная составляющая теплового потока, проникающего из реакционного канала в вышелегающий водоносный горизонт. Даны оценки изменения величины потока и температуры подземных вод в зависимости от мощности водопорного слоя.

Розроблена математична модель фільтрації і теплопереносу в породній покрівлі підземного газогенератора при вигазовуванні вугільного пласта. За результатами моделювання встановлена конвективна і кондуктивна складова теплового потоку, що проникає з реакційного каналу у вище розташований водоносний горизонт. Дані оцінки зміни величини потоку і температури підземних вод залежно від потужності водотривкого шару.