

Лекція 6

Тема. Отримання сольових розчинів підземним розчиненням солей

Мета. Розглянути підземне розчинення солей, як один із способів отримання розчинів.

План

1. Сутність процесу підземного розчинення солей (ПРС).
2. Технологія підземного розчинення солей.
3. Струминний спосіб розчинення солі

1. Сутність процесу підземного розчинення солей (ПРС)

Підземне вилуговування (ПВ) – спосіб розробки рудних родовищ шляхом вибіркового розчинення корисного компонента хімічними реагентами і переведення його в рідку фазу з подальшою переробкою металомістких (продуктивних) розчинів. Вибіркове вилуговування в загальному випадку містить в собі наступні етапи: проникнення розчинника до видобувного компонента; хімічну взаємодію компонента з розчинником і ведення в розчинну форму, перенесення хімічної реакції з глибини твердіючої частинки до поверхні розділу фаз; перенесення компонента від поверхні розділу фаз в об'єм кондиційного розчину (додаток Б). Розрізняють свердловинне і шахтне підземне вилуговування.

Видобування солі через свердловини відомо з XII століття. У 1927 р. П.І. Преображенський висловив ідею розробки родовищ калійних солей підземним розчиненням через свердловини. Технологічний процес ПРС був розроблений у США у 1933 р. Е. Тремпом. Поширенню цього способу сприяли наукові розробки П.А. Кулле, П.С. Бобка, П.М. Дудка, В.С. Романова, Б.П. Каратигіна, Ф.І. Березіна, В.Ж. Аренса, Р.С. Пермякова, В.М. Глоби та інших радянських учених.

Розрізняють розчинення соляних родовищ безпосередньо у копальні і розчинення покладу через свердловини, які пробурені з земної поверхні. До першого способу відносять зрошувальне розчинення і розчинення за методом зінкверків. Соляні поклади в цих випадках розробляють шахтним способом. Сутність зрошувального розчинення полягає у прокачуванні води через камери, тоді як при розчиненні за методом зінкверків підземні камери заповнюють водою, а через деякий час отриманий після розчинення солі розсіл відкачують на поверхню.

Розчинення солей і вилучення їх з надр Землі у вигляді розсолу через бурові свердловини – сучасний, більш прогресивний спосіб розробки соляних покладів. Розчинення кам'яної солі у воді – гетерогенний процес, проходить на межі розділу твердої і рідкої фаз. Гетерогенні реакції складаються з трьох стадій: надходження розчинника до поверхні солі; реакції взаємодії розчинника з твердою речовиною (які являють собою міжфазні процеси); відведення розчиненої речовини від поверхні твердого тіла (дифузійний процес). На поверхні розділу твердої і рідкої фаз утворюється примежовий шар розчину, з якого іони солі дифундують в розчинник (воду). Тут спостерігається переміщення рідкої фази відносно твердої поверхні солі. Навіть при відсутності перемішування в цій зоні відбувається природна конвекція рідини за рахунок неоднакової щіль-

ності, в різних точках розсолу, що забезпечує приплив нових мас розчинника до поверхні солі. Кінетика розчинення твердого тіла в рідині наступна

$$V \frac{dc}{dt} = K_s (C_n - C)$$

де V – об'єм розчину, m^3 ; t – тривалість утворення концентрованого розчину, год; k – коефіцієнт швидкості дифузійного розчинення; S – площа розчинення; C_n, C – концентрація солі, відповідно, в насиченому розсолі і в розчиннику, kg/m^3 .

Коефіцієнт швидкості для дифузійного розчинення (за В.Ж. Аренсом) можна записати:

$$K = \frac{D^{2/3}}{\nu^{1/3}}$$

де K – константа, спільна для тіл дифузійного розчинення; D – коефіцієнт дифузії, $m^2/год$; ν – кінематична в'язкість.

Лінійна швидкість розчинення твердих речовин:

$$W = \frac{q}{\rho_c} \frac{k (C_n - C)}{\rho_c}$$

де q – кількість розчиненої солі з одиниці поверхні за одиницю часу;
 ρ – густина C_n, C – концентрація;

В основі процесу розчинення солей покладена гідродинамічна теорія. П.А. Кулле прийшов до висновку, що для точного опису процесу необхідно враховувати параметри руху рідини, що залежать від в'язкості і сили тяжіння. Підземне розчинення солей полягає в наступному. При попаданні частинки солі в розчинник на її поверхні утворюється примезовий шар насиченого розсолу. У товщі розсолу відбувається дифузійний процес, а сам масив розсолу під дією гравітаційних сил починає пересуватися по поверхні твердої частинки. Таким чином, в результаті розчинення поверхні твердого тіла у розчині відбувається перенесення речовини дифузією, а також шляхом руху в'язкої рідини під дією сили тяжіння. Слід зазначити, що швидкість розчинення твердої поверхні значною мірою залежить від кута нахилу поверхні солі, що розчиняється. Найбільша швидкість розчинення спостерігається при розташуванні поверхні під кутом 180° до горизонту. Зниження швидкості розчинення спостерігається при куті нахилу поверхні солі 90° і менше. Наприклад, $\rho = 0^\circ, \rho = 3,5 \text{ кг}/(m \cdot g)$ при $\rho = 90^\circ = 10,0 \text{ кг}/(m \cdot g)$, при $\rho = 180^\circ = 24,0 \text{ кг}/(m \cdot g)$.

З цього випливає, що максимальна швидкість розчинення буде на горизонтальній поверхні (покрівлі камери). На вертикальній поверхні (стінках камери) швидкість розчинення приблизно в 2 – 2,5 рази нижче, ніж на

горизонтальній поверхні розчинення. Підшва камер через випадання на неї нерозчинних шлаків практично не розчиняється.

2. Технологія підземного розчинення солей

Підземне розчинення солей здійснюється за двома принципами, але за різними технологічними схемами: закачуванням прісної води (циркуляційний метод) по одній колоні труб і видачею на поверхню розсолу по другій; водяними струменями (струменевий метод або метод зрошення), розбризкування в камерах спеціальним зрошувачем. На вибір технологічної схеми підземного розчинення солей впливають гірничо-геологічні умови розробки, форми та об'єм камер, допустимі розміри камер за умовами стійкості і передбачуваний термін будівництва. З урахуванням цих факторів застосовують прямотечійний, протитечійний і комбінований способи розчинення, розчинення з гідроврубом, пошарово-ступеневе розчинення та ін.

Прямотечійний спосіб використовують при перерізі покладу кам'яної солі свердловиною, обсадженою колоною труб. Затрубний кільцевий простір від поверхні землі до обсадної колони цементують. Потім свердловину поглиблюють до ґрунту соленосного пласта (рис.1,) і опускають в неї водоподавальну і розчинопіднімальну колони труб. Нижній кінець подавальної колони розташовують у вибої свердловини на відстані 1 – 2 м від підшви пласта. По цій колоні труб в свердловину надходить прісна вода, яка розчиняє сіль. Під тиском розчинника утворений розсіл піднімається на поверхню по розчинопідійомній колоні труб (міжтрубному простору). У результаті розчинення солі утворюється камера грушоподібної форми з розвитком нижньої частині свердловини за рахунок подачі свіжої води безпосередньо в цю зону. Прямотечійний спосіб набув поширення у Чехії та Польщі.

При використанні **способу протитечійного** розчинення (рис. 1) прісна вода подається за міжтрубним простором, а розсіл відбирається по внутрішній колоні труб. Це дозволяє формувати конусоподібну камеру з вершиною, оберненою вниз, і сильно розвиненою стелиною. Утворення такої форми зв'язане з тим, що у камеру подаються нові порції води, які розходяться уздовж стелини і сприяють інтенсивному її розпаду, а утворений розсіл опускається до підшви камери. Розчинення стелини відбувається зі швидкістю 10 – 12 см на добу. Діаметр основи конуса (стелини) може сягати на рік 70 – 90 м.

При протитечійному способі породи покрівлі соляного покладу на великій площі обвалюються. Як наслідок, можливий обрив колони труб. Крім того, продуктивність розчинення при протитечійній технології низька – 12 – 16 м/рік розсолу. Незважаючи на ці недоліки, спосіб протитечійного розчинення, як і спосіб прямотечійного розчинення, відрізняється простотою і невеликою витратою труб. Протитечійний спосіб застосовували у СРСР, Східній Німеччині та США. Комбінований спосіб розчинення набув найбільшого поширення в практиці розробки соляних пластів. При його використанні солі розчиняються у два етапи. На першому етапі відбувається формування камери у висхідному напрямку, на другому – нижня і верхня частини камери формуються назустріч одна одній (рис.2), тобто верхню формують у низхідному напрямку, а нижню – у висхідному.

Підземне розчинення кам'яної солі з гідроврубом. Гідровруб – гірнича виробка, створювана в нижній частині соленосного пласта. Вона має форму горизонтального кільця, сформованого навколо свердловини, що розкриває соляний поклад та обкладається трьома колонами труб: обсадною 0,325 м і двома експлуатаційними 219 і 114 мм. У результаті чого утворюються три порожнини: зовнішня – між обсадною колоною (нижче чобітка обсадної труби стінок свердловини) і зовнішніми стінками колони труб діаметром 219 мм, призначена для подачі рідкого нерозчинника; проміжні кільця – між внутрішніми стінками колони діаметром 219 мм і зовнішніми стінками колони меншого діаметра, що використовується для подачі розчину; центральна – внутрішній простір колони труб меншого діаметра, призначена для підйому розсолу (рис.). Перед початком розчинення кам'яної солі чобіток розчинопідйомної колони розташовують на 0,3 – 0,5 м вище за підшову пласта, а чобіток водоподавальної колони – на 1,5 – 2 м вище чобітка розчинопідйомної колони. Різниця у висотах становить висоту гідроврубу.

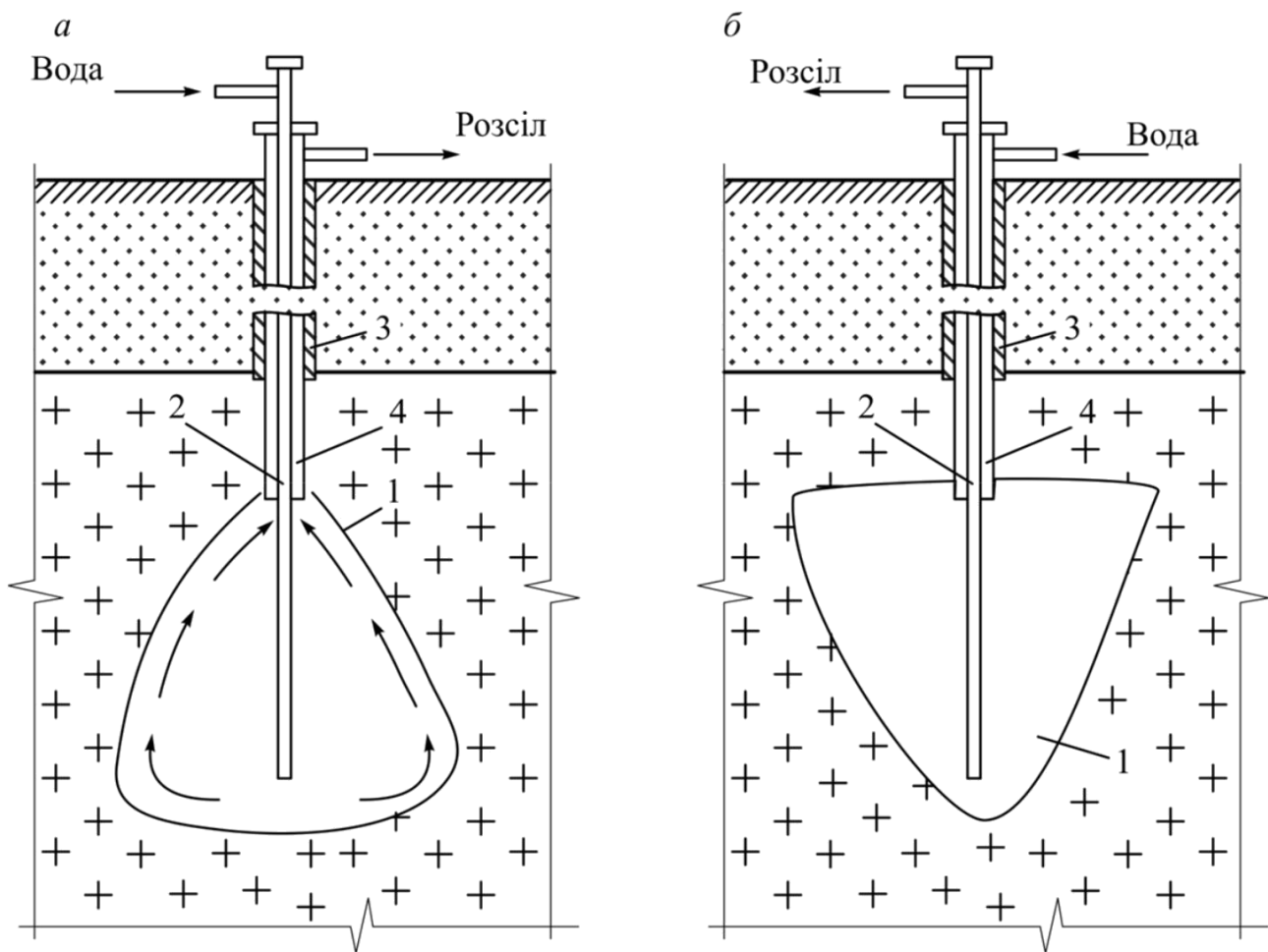


Рис.1. Технологічна схема підземного розчинення кам'яної солі прямотечійним (а) і протитечійним (б) способами: 1 – камера розчинення; 2 – водо-подавальна колона; 3 – цементне кільце; 4 – розсоліподійомна колона.

Вода і нерозчинник подаються в камеру безперервно, відбір розсолу також відбувається постійно. Як нерозчинник можуть застосовуватися рідкі (нафтопродукти) або газоподібні (повітря, азот) продукти. Нерозчинник накопичується на покрівлі гідроврубу і оберігає сіль від розчинення. Завдяки цьому камера розвивається тільки в горизонтальному напрямку. Після

утворення гідроврубу нерозчинник прибирають з поверхні і починається процес інтенсивного відпрацювання соляного пласта знизу вверху. При такій схемі робіт створюються сприятливі умови для підтримання розчинника на постійному рівні для отримання найкращого розвитку камери в горизонтальному напрямку та забезпечення найбільшого охоплення площі покрівлі пласта навколо свердловини. Спосіб гідроврубу поширений в нашій країні (Райгородський розсолопромисел в Україні, Яр-Бішқадакський розсолопромисел у Башкірії), у США – штати Те-хас і Мічиган. Пошарово-ступеневе розчинення солей здійснюється як через окремі свердловини, так і за допомогою декількох свердловин. При даному способі розчинення розвиток камери знизу вверху досягається за допомогою нерозчинника, що оберігає покрівлю камери від довільного розмиву прісною водою (рис.). Сутність способу полягає в тому, що після утворення гідроврубу (перший ступінь) відпрацювання пласта здійснюють ступенем знизу вверху.

Для цього рівень нерозчинника (нафти) піднімається на один ступінь в результаті відбору розсолу з камери і ґрунт камери насичується розсолом.

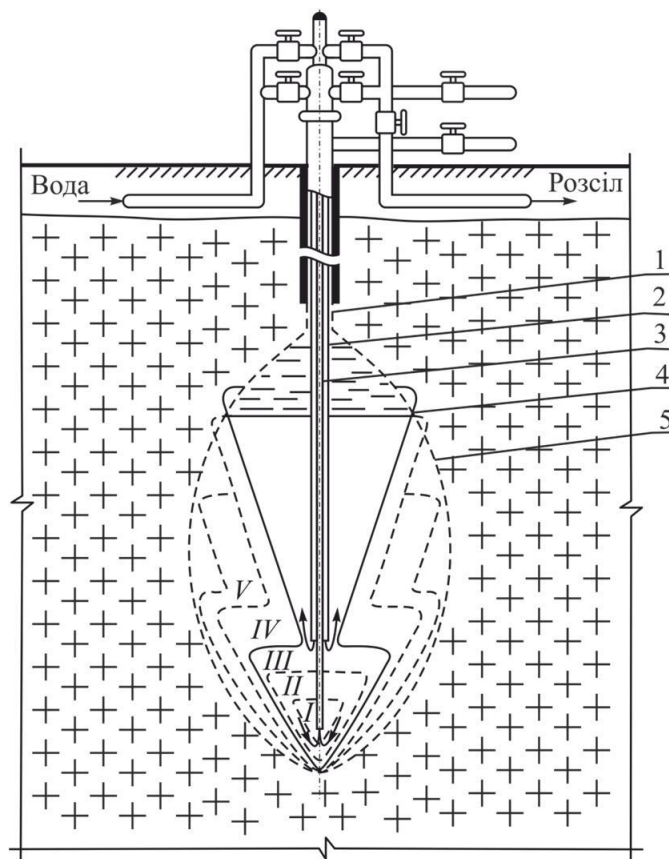


Рис.2. Технологічна схема розчинення солі комбінованим способом:
 1 – обсадна колона; 2 – водоподавальна колона; 3 – розчинопідйомна колона;
 4 – нерозчинник; 5 – проектний контур камери; I – V – етапи розчинення

Перехід на новий ступінь відбувається у результаті підйому колони труб 219 мм, це зумовлює надходження додатково під рівень нерозчинника, який розчиняє бічні стінки в ступені між нафтою зверху і розсолом знизу. Сходини розширюються від 1,5 до 6 м із збільшенням висоти розчиненої зони до 10 – 15 м. Продуктивність пошарово-ступеневого розчинення складає 70 – 90 м³/рік

розсолу. Це відповідає розчиненню 12 – 15 м³/рік об'єму камери. Пошарово-ступеневе розчинення використовується в Росії (розсолотроми Усольсько-Сибірський, Яр-Бішкадакський, Волгоградський, Прієревакський та ін.), в Болгарії (Мирівське родовище), США та Румунії.

Течійний спосіб розчинення солі. Досвід показав, що при циркуляційній схемі розчинення солі протікає порівняно повільно. Останнім часом набув поширення більш продуктивний течійний спосіб розчинення солі. У цьому випадку на водоподавальній колоні труб змонтований спеціальний пристрій з насадками, або розташованими вгорі майбутньої камери, або переміщуються по висоті камери з одночасним обертанням (рис. 3). Для підвищення інтенсивності процесу розчинення насадки можуть бути розташовані по всій висоті водоподавальної колони. Розчинення проводиться зрошенням стінок камери струменями води. Після проходження традиційним способом свердловини в неї опускають занурювальний насос, колону розчино-підйомних і водоподавальних труб.

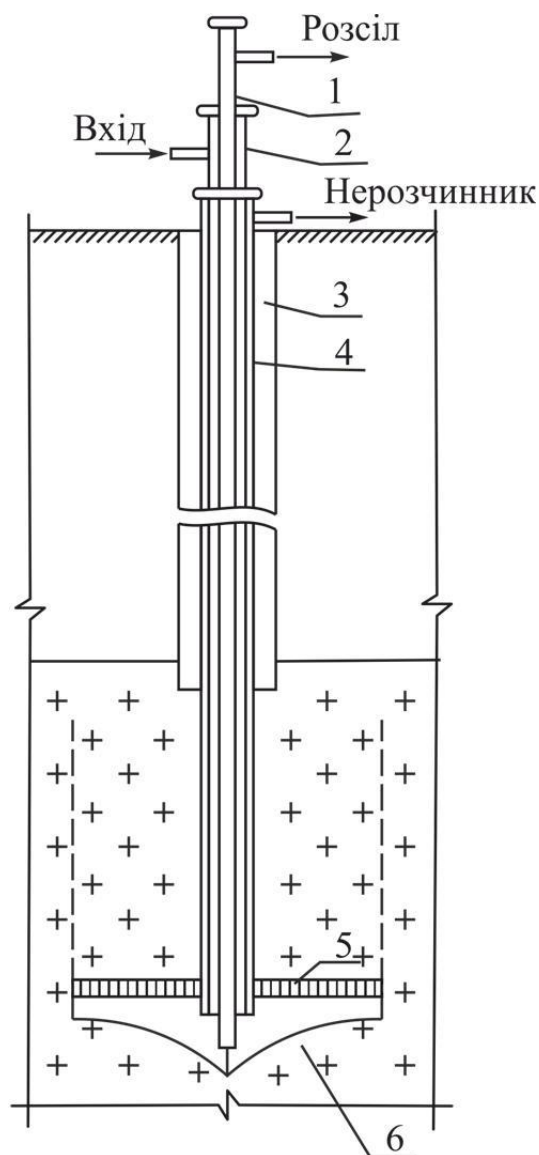


Рис. 3. Технологічна схема підземного розчинення з застосуванням гідроврубу: 1 – розчино-підйомна колона; 2 – водоподавальна колона; 3 – колона для подачі і відбору нерозчинника; 4 – цементне кільце; 5 – шар нерозчинника; 6 – порожнина гідроврубу

Високоінтенсивний процес розмиву камери досягається при обертанні водоподавальної колони, труб і насадок. Продуктивність струминного способу 3 – 4 рази вище циркуляційного. Так середня мінералізація розчину при циркуляційному розмиві становить 64, а струминного – 277 кг/м², витрата води відповідно – 28,4 і 6,54 м³.

Підземне розчинення солей у камерах галерейного типу. Сутність способу полягає в проходці орієнтованих (похилонаправлених) свердловин та утворенні подовжених камер галерейного типу, розташованих в площині соленосного пласта. Схема розчинення солей галерейним способом зображена на рис. 4. У процесі розчинення солей утворюються камери великої довжини з залишенням захисних пачок солі в покрівлі і ґрунті товщиною 2 – 3 м для підвищення її стійкості. Після розмиву перших заходок водоподавальна колона труб в орієнтованій свердловині піднімається на задану висоту, горизонтальна ділянка коротшає і приступають до розчинення наступної заходки. Можливий розмив пласта на всю довжину галереї камери за прямоструминним або протиструминним способами.

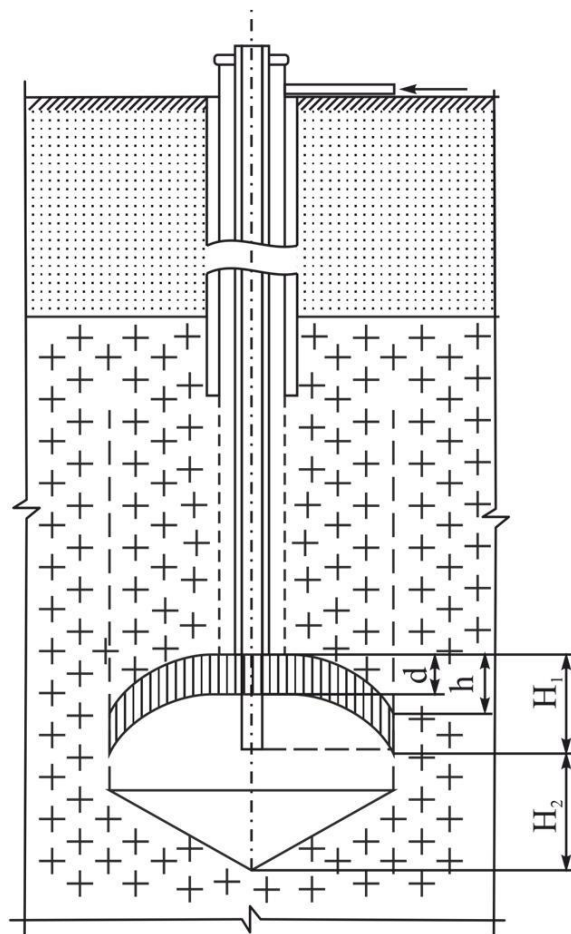


Рис. 4. Технологічна схема пошарово-ступеневого розчинення солей: H_1 – висота активної зони; H_2 – висота зони консервації; H_3 – висота кінцевої зони формування; n – висота ступеня розчинення

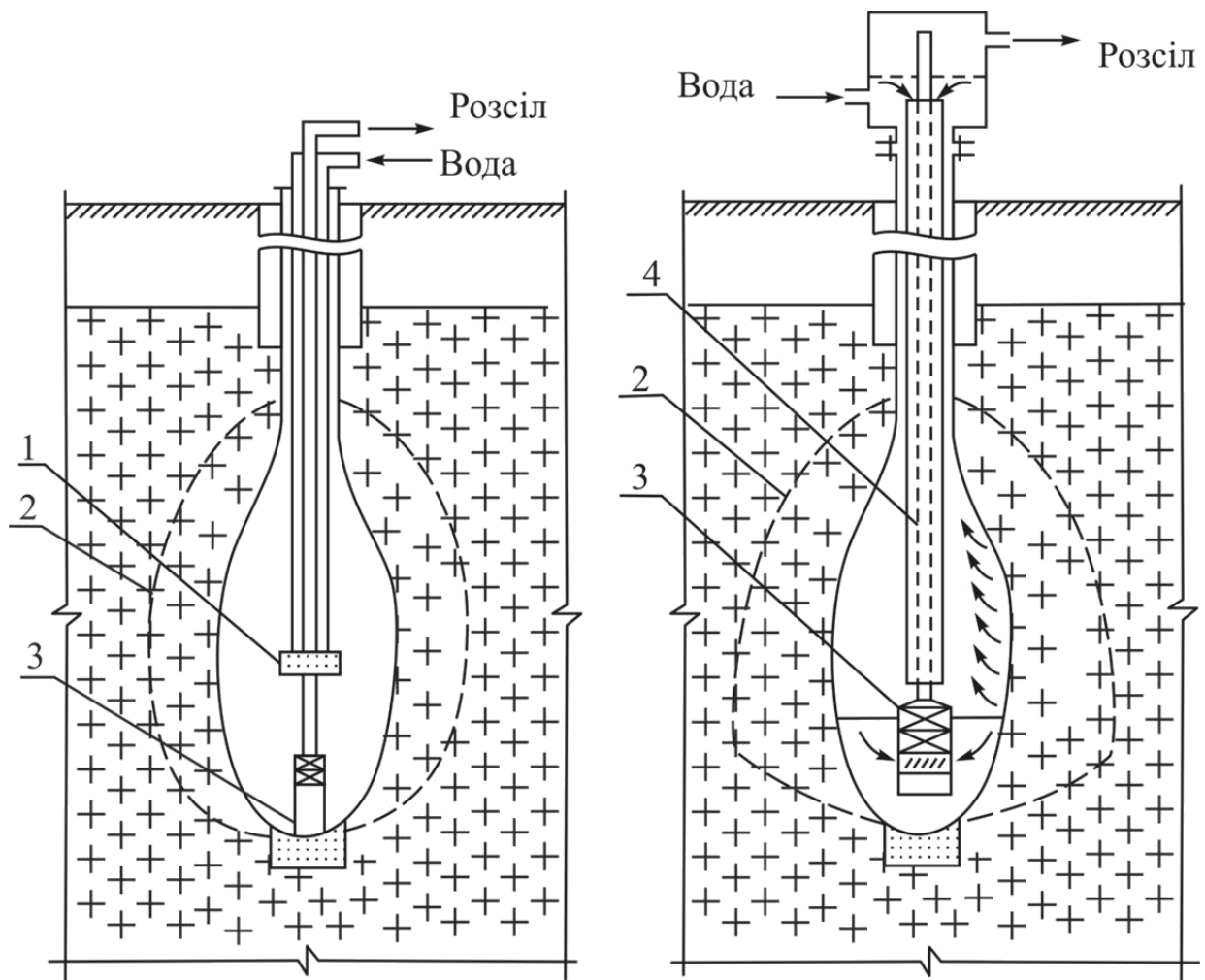


Рис.5. Схема розчинення солі з укороченою (а) і подовженою (б) насадками: 1 – зрошувач з насадками; 2 – проектний контур камери; 3 – занурений електронасос для відкачування розсолу; 4 – система насадок по висоті розмивних камери

3. Основні напрями вдосконалення технології ПРС

Одне з основних завдань в роботі розсолопромислу – інтенсифікація процесу розчинення солей. Досягти цього можна шляхом підвищення розчинювальної здатності розчинника та штучного створення проникних каналів гідророзривом або торпедуванням соленосного пласта. Прискорююча здатність розчинника може бути отримана підвищенням його температури: швидкість розчинення на – 20 % при температурі 100 °С вище, ніж при звичайній, тобто при 20 °С.

Важливе завдання вдосконалення процесу (ПРС) – розроблення ефективніших методів контролю за рівнем нерозчинника. Створення автоматизованих підприємств по розчиненню солей дозволить використовувати їх максимально продуктивно.

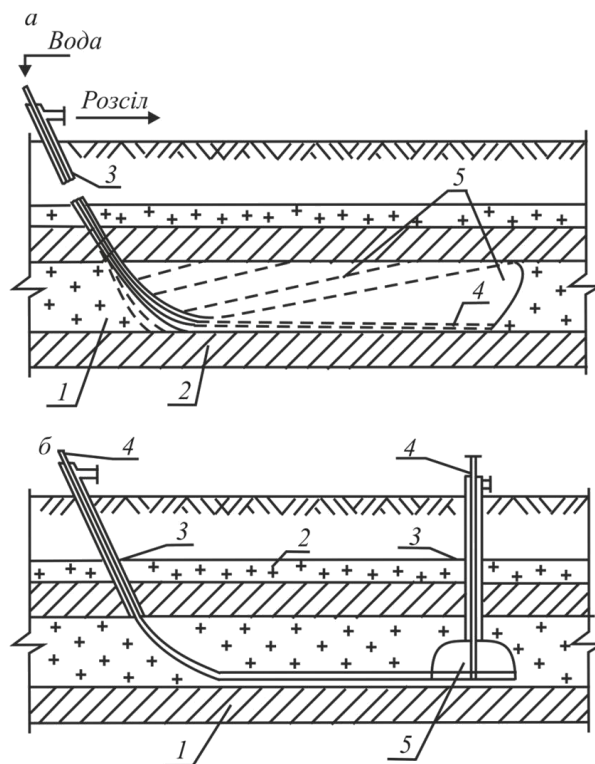


Рис. 5. Схема розчинення солей галерейним способом через одну (а) та дві (б) свердловини: 1 – солений пласт; 2 – бокові породи; 3 – обсадні труби для видачі розчину; 4 – водоподавальна колона труб; 5 – камера, утворена розчиненням (первісна захватка)

Література

1. Фізико-хімічна геотехнологія [Текст]: навч. посібник / М.М. Табаченко, О.Б. Владико, О.Є. Хоменко, Д.В. Мальцев – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 310 с.
2. Загальна хімічна технологія: Підручник / В.Т. Яворський, Т.В. Перекупко, З.О. Знак, Л.В. Савчук. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2005. – 552 с.
3. Загальна хімічна технологія: промислові хіміко-технологічні процеси: навч. посіб. / С.В. Іванов, Н.М. Манчук, П.С. Борсук. — К.: Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2010. —280 с.
4. Галургия. Теория и практика. Под ред. И.Д. Соколова. - Л.: Химия, 1983.- 342 с.