

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**Шестопапов Олексій Валерійович**



УДК 504.064.4

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ГІДРОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ УТИЛІЗАЦІЇ  
ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ СОДОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Райко Валентина Федорівна**,  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, професор кафедри хімічної техніки та промислової екології.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
**Перцев Леонід Петрович**,  
Український науково-дослідний інститут хімічного машинобудування, м. Харків, науковий консультант

доктор технічних наук, професор  
**Атаманюк Володимир Михайлович**,  
Національний університет "Львівська політехніка",  
м. Львів, завідувач кафедри хімічної інженерії

Захист відбудеться «15» квітня 2011 року о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.05 у Національному технічному університеті «ХПІ» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, буд. 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «ХПІ» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, буд. 21.

Автореферат розіслано «14» березня 2011 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Тимченко В.К.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Найбільш шкідливим і об'ємним відходом виробництва кальцинованої соди аміачним способом є дистилерна суспензія, що утворюється в кількості 8-10 м<sup>3</sup> на 1 т соди. Це зумовлено самою технологією, за якою складно досягти повного використання сировини. Дистилерною суспензією є розчин хлоридів кальцію і натрію, гідроксиду і сульфату кальцію із загальним масовим вмістом розчинних компонентів 15 – 16 %, у якому суспендовано до 50 г/дм<sup>3</sup> твердих речовин.

Численні спроби зробити спосіб безвідходним або маловідходним дотепер успіху не мали. Наразі відходи содового виробництва повністю скидаються у шламонакопичувачі (так звані "білі моря"), що займають сотні гектарів земельних угідь і вимагають для свого будівництва і експлуатації дуже великих капітальних витрат.

Вирішенням проблеми позбавлення шкідливої дії відходів содових виробництв може стати їх накопичування у підземних порожнинах, які утворюються в процесі вилуговування солі (у відпрацьованих розсільних свердловинах). Як відомо, ці порожнини є герметичними і виключають подальше поширення розчинів у підземних горизонтах. Використання твердих відходів як тампонажного матеріалу разом з ліквідацією їх наземних накопичувачів також сприятиме підвищенню стійкості земної поверхні в місцях розташування розсолотехнічних підприємств.

На теперішній час недостатньо наукових даних щодо гідродинамічних процесів розподілення твердої та рідкої фаз пульпової суспензії у підземних порожнинах, умов осідання з неї твердої фази, підготовки та транспортування суспензії твердих відходів до місць захоронення, що дозволяє обґрунтовувати проектування процесу підземного захоронення відходів.

Таким чином, виявлення закономірностей процесів розділення суспензії відходів содового виробництва підчас закладки у підземні порожнини, умов транспортування суспензії цих відходів у розсолі до місць їх захоронення є актуальною науково-технічною задачею, яку і вирішує дисертаційна робота.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалася у відповідності до наукового напрямку кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ "ХПІ в рамках державної науково-дослідної теми МОН України «Розробка фізико-хімічних і теплотехнічних основ гетерогенних процесів в енерготехнологічних системах» (ДР№ 0108U001454), а також договорів про науково-технічне співробітництво з ВАТ «Кримський содовий завод» та ВАТ «Лисичанська сода», в яких здобувач був відповідальним виконавцем окремих етапів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є виявлення закономірностей гідромеханічних процесів розділення суспензії відходів содового виробництва та осідання твердої фази у підземних порожнинах підчас їх закладки, умов транспортування суспензії твердих нетоксичних відходів у розсолі до місць їх захоронення.

- Для досягнення зазначеної мети у дисертаційній роботі вирішувалися наступні задачі:
- провести патентно-інформаційний пошук літературних джерел щодо структури потоків у розсі-льних свердловинах, умов розділення пульпової суспензії содового виробництва та транспорту-вання цієї суспензії до місць захоронення;
  - дослідити стабільність хімічних сумішей пульпової суспензії на протязі терміну, необхід-ного для їх транспортування від підприємства до підземної порожнини;
  - дослідити шляхом фізичного та математичного моделювання вплив технологічних параметрів (температури, гідродинамічного режиму, концентрації, складових часток шламової су-спензії, домішок поверхнево-активних речовин) на процес осідання твердих часток в пі-дземних порожнинах, та винайти умови, що виключають вторинний винос шламу зі свер-дловини;
  - дослідити поведінку суспензії та відходів в розсолі під час її підготовки до транспортування до місць закладки;
  - дослідити шляхом математичного моделювання вплив закладки твердих відходів содового виро-бництва у підземні порожнини на підвищення несучої здатності поверхні порожнини;
  - шляхом математичного моделювання визначити оптимальне розміщення розсолзаборної та шламоподаючої колон в соляній камері, яке забезпечуватиме вільне осідання твердої фази відхо-дів без ризику забруднення розсолу, який витісняється.
  - розробити рекомендації щодо апаратного оформлення процесу захоронення твердих ві-дходів содового виробництва у підземних порожнинах;
  - дати економічну оцінку розробленому способу утилізації твердих відходів содових ви-робництв у підземних порожнинах.

*Об'єктом дослідження є процес підготовки та захоронення відходів содового вироб-ництва у підземних порожнинах.*

*Предмет досліджень – гідродинамічні умови протікання седиментаційних процесів під час підготовки, транспортування та захоронення твердих відходів содового виробництва у підземних порожнинах.*

*Методи досліджень базуються на використанні фізичного та математичного моделю-вання досліджуваних процесів. Обробка експериментальних даних здійснювалась методами математичної статистики. Визначення складу та властивостей речовин, які використовували-сь при дослідженнях, здійснювались за допомогою об'ємних і вагових методів хімічного аналізу та фізико-хімічних методів дослідження за стандартними методиками. Математичне моделювання здійснювалося на підставі класичних положень механіки рідини і технічної гі-дромеханіки.*

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше у галузі створено наукове обгру-нтування розробки процесу захоронення твердих відходів содового виробництва у відпра-цьованих розсільних свердловинах, а саме:

- отримано математичну залежність умов седиментації шламу в розсолі хлориду на-трію від співвідношення розсолу до шламу на основі якої знайдено оптимальні умови приготу-вання пульпової суспензії для її транспортування від підприємства до підземної порожнини;

– досліджено вплив домішок на процес інтенсифікації осідання твердої фази суспензії відходів содового виробництва і освітлення розсолу під час розробки технології закладки відходів та визначено витрату коагулянту, яка запобігає вторинному виносу твердої фази зі свердловини;

– досліджено процес дифузії іонів кальцію та магнію із твердих відходів, закладених у підземну порожнину, до оточуючого розсолу та визначено кількісні характеристики можливого підвищення вмісту цих іонів;

– досліджено процес утворення відкладень на поверхні трубопроводу при транспортуванні суспензії твердих відходів содового виробництва у розсолі та отримано залежність кількості відкладень від складу суспензії та вмісту завислих часток, на підставі чого сформульовано умови стабільного транспортування твердих відходів до місць закладки;

– виконано оцінку стійкості стінок та просідання земної поверхні навколо відпрацьованої соляної камери.

Знайшли подальший розвиток дослідження гідродинамічних умов в підземних порожнинах та визначено вплив структури потоків рідини на процес осідання твердої фази при закладці суспензії, що містить тверді відходи содового виробництва, визначено умови, за яких виключається вторинний винос похованого шламу.

**Практичне значення одержаних результатів** для виробництва кальцинованої соди полягає у розробці технології утилізації твердих відходів содового виробництва з можливістю одночасного видобування кондиційного розсолу. Розроблено модель процесу гравітаційного розділення суспензії твердих відходів содового виробництва у відпрацьованій розсільній свердловині, формування та ущільнення осаду, що дозволяє прогнозувати безпечні умови накопичування шламу. Визначені ступінь забруднення розсолів в камері солями кальцію та магнію над рівнем ущільнення шламу і проведена оцінка заповнення камери шламами дозволяють прогнозувати вплив домішок на кондицію розсолу. Розроблена методика оцінювання швидкості освітлення розсолу в зоні скаламутнення дозволяє попередити забруднення кондиційного розсолу твердою фазою.

Результати роботи та отримані гідромеханічні закономірності впроваджені на Лисичанському содовому заводі. Результати виконаних досліджень впроваджені в навчальний процес при викладанні спеціальних дисциплін, у курсовому та дипломному проектуванні за спеціальностями 8.070881, 8.070220 та 8.070221 на кафедрі хімічної техніки і промислової екології НТУ "ХПІ"

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці лабораторної установки та виконанні експериментальних досліджень, в реалізації математичної моделі процесу осідання твердої фази відходів у відпрацьованих розсільних свердловинах та проведенні експериментів на фізичній моделі, обробці експериментальних даних та отриманні залежностей процесу осідання твердих часток під впливом різноманітних чинників, участі в розробці рекомендацій з утилізації твердих та рідких відходів у відпрацьованих розсільних свердловинах з одночасним видобуванням концентрованого розсолу. Всі основні положення дисертаційної роботи, які винесені на захист, розроблені здобувачем особисто.

**Апробація результатів дисертації.** Матеріали дисертації доповідались та обговорювались на: V Міжнародній науковій конференції «Молодь у вирішенні регіональних та трансграничних проблем екологічної безпеки» (м. Чернівці, 2006 р.); IX Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, 2006 р.); V Міжнародній науковій конференції аспірантів та студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів» (м. Донецьк, 2006 р.); Всеукраїнській науковій конференції студентів та аспірантів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 2007 р.; 2008 р.); XV Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2007 р.), XII науково-методичній конференції «Людина та навколишнє середовище—проблеми безперервної екологічної освіти в вузах» (м. Одеса, 2007 р.), V Міжнародній конференції «Сотрудничество для решения проблем отходов» (м. Харків, 2008 р.); а також на наукових семінарах кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ «ХПІ» та кафедри прикладної екології Сумського державного університету.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 15 робіт, в тому числі: 8 статей у фахових наукових виданнях ВАК України та 1 деклараційний патент України на корисну модель.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 174 сторінок, 52 рисунки за текстом, 19 таблиць за текстом, 2 додатки на 2 сторінках, список використаних літературних джерел з 123 найменувань на 14 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність та доцільність дисертації, сформульовано її мету і задачі, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

В першому розділі наведено аналіз літературних джерел щодо принципів і методів закладки твердих нетоксичних відходів у підземних порожнинах промислового походження. Показано, що найбільш перспективними для закладки твердих відходів содових виробництв є відпрацьовані порожнини розсолпроміслу, утворені методом підземного вилуговування кам'яної солі, які являють собою ідеальні герметичні резервуари.

Розглянуто роботи, які висвітлюють перспективність використання відходів содового виробництва в якості тампонажного матеріалу для заповнення відпрацьованих соляних порожнин з метою як ліквідації відходів, так і підвищення стійкості земної поверхні зони розсолпроміслу. Показано можливість видобування додаткових кількостей кондиційного розсолу при одночасній закладці твердих відходів содових виробництв у вигляді шламу або пульпи. Проаналізовано відомі запатентовані винаходи, а також переваги і перспективи розробки і впровадження удосконаленої технології закладки твердих відходів содових виробництв у відпрацьованих соляних свердловинах на території України, зокрема для утилізації відходів відпрацьованого (заповненого) шламонакопичувача ВАТ «Лисичанська сода» у розсільних порожнинах з одночасним видобуванням кондиційного розсолу для виробництва со-

ди. Розглянуто роботи, присвячені гідродинамічним і седиментаційним процесам при розділенні неоднорідних систем. Виявлено, що закономірності гідромеханічних процесів у підземних порожнинах майже не досліджувалися.

На підставі систематизації та аналізу літератури сформульовані задачі дослідження.

У другому розділі викладено загальну методикку дослідження, описано експериментальну установку, модельні системи і методики проведення експериментів дослідження гідромеханічних процесів утилізації твердих відходів.

Приготування пульпової суспензії та дослідження властивостей шламу здійснювалось на експериментальній установці в НТУ «ХПІ». Для приготування пульпової суспензії в колбу подавали приготовлений розчин концентрованого розсолу та навіски твердих відходів у необхідному для дослідження співвідношенні рідкої та твердої фаз (досліджування велись при співвідношенні Р:Т від 5 до 20). Після перемішування до однорідної суміші (протягом 15-20 хв.) і додавання домішок досліджувану рідину зливали в мірні склянки та спостерігали процес розділення неоднорідної системи Р:Т. Увесь час при проведенні дослідів регулювали температуру в термостаті та в досліджуваній колбі таким чином, щоб вона підтримувалась близько 10°C (значення, яке відповідає температурі охолодження шламової суспензії при транспортуванні по підземному трубопроводу та температурі в розсільній свердловині).

Зразки, на яких випадають інкрустації, підвищуються в декілька ярусів на крюки скляного утримувача і з усіх боків омиваються рідиною. Кількість зразків може мінятися залежно від поставленої мети. Використовувалися зразки з різних конструкційних матеріалів і скла розміром 17,5X17,5X1,0 мм. Перед встановленням їх знежирювали, зважували і вимірювали товщину. Потім через задані інтервали часу зразки витягали з колби, промивали, висушували, зважували і вимірювали товщину їх інкрустацій. По приросту і зміні товщини відкладень карбонату кальцію на зразках визначалася швидкість інкрустації.

Вивчення гідродинаміки в підземній камері-відстійнику проводили на маломасштабних моделях з дотриманням умов геометричної та фізичної подібності.

Дослідження геомеханічних процесів навколо соляних камер закладки відходів проводили шляхом чисельного математичного моделювання з використанням сіткових методів, методу скінченних елементів та регресійного аналізу.

В третьому розділі представлено результати експериментального вивчення властивостей пульпової суспензії, яка містила тверді відходи содового виробництва, при її приготуванні і транспортуванні по трубопроводу до місць закладки. Оскільки фізико-хімічні властивості твердих відходів з відпрацьованого шламанакопичувача змінюються з глибиною та містять речовини, які можуть негативно впливати на процес закладки відходів у підземні порожнини (призводити до інкрустації та корозії устаткування або забруднювати розсіл), були проведені відповідні дослідження складу відходів шламосховища і властивостей пульпової суспензії, передбаченої для закачки в порожнини, а також дослідження процесу осідання і ущільнення твердих часток.

Аналіз хімічного складу проб шламу дослідного шламосховища показав, що рідка фаза представлена переважно атмосферними опадами (сума солей складає 0,38 %); тверда фаза на 90 % складається з карбонату кальцію, що пояснюється вимиванням хлоридів кальцію з

шламонакопичувача за період експлуатації нового шламонакопичувача ВАТ «Лисичанська сода».

Проведене дослідження фізико-хімічних та технологічних властивостей суспензії твердих відходів содового виробництва в розсолі, які впливають на процес її закачування в порожнини та на поведінку у ній. Визначено швидкість осідання шламу і склад шламової суспензії з урахуванням домішок. Встановлена можливість інтенсифікації процесу осідання твердої фази в розсолі хлориду натрію шляхом додавання поліакриламід (ПАА) в кількості 30-50 г 100% ПАА на 1 т шламу.

На підставі одержаних експериментальних даних (рис. 1) залежність швидкості осідання шламу, в розсолі від співвідношення розсолу до шламу (Р:Т) можна описати залежністю:

$$V = 0,07 \ln R - 0,02, \quad (1)$$

де  $V$  - швидкість осідання, мм/с;  $R$  - співвідношення Р:Т.

При співвідношенні Р:Т=5-6, з урахуванням вологості шламу 35,51 % і суми солей в рідкій фазі шламу 0,38%, швидкість осідання шламу досягає 0,1 мм/с, що відповідає 0,36 м/год; при цьому щільність шламової суспензії складе 1,28-1,32 тон/м<sup>3</sup>.

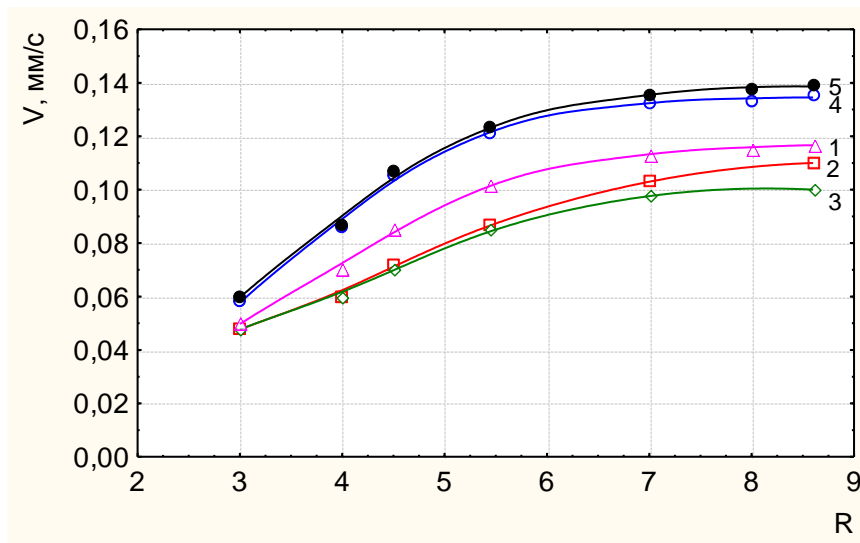


Рис. 1. Залежність швидкості осідання шламу в розсолі хлориду натрію  $V$  (мм/с) від співвідношення  $R=P:T$ .

1 - без домішок; 2 - в присутності соди (1% мас  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ); 3 - в присутності соди (3% мас  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ); 4 - в присутності поліакриламід (30 г ПАА на 1 т сухого шламу); 5 - в присутності поліакриламід (100 г ПАА на 1 т сухого шламу).

Встановлено, що процес тривалого ущільнення шламу содових підприємств можна описати залежністю

$$M_k = 2,56 - b \cdot \left(2,56 + \frac{\rho_{\text{рф}}}{\rho_{\text{тф}}}\right) \cdot (\ln T_k - 0,4343), \quad (2)$$

де  $\rho$  - щільність твердої і рідкої фаз шламу, кг/м<sup>3</sup>;  $T_k$  - тривалість ущільнення шламу, доба;  $b$  - емпіричний коефіцієнт.



Були розраховані граничні значення щільності шламів, які підлягали експериментальній перевірці при закладці шламів в камери підземного вилуговування. При щільності частинок 2,15-2,16 т/м<sup>3</sup> максимальна ущільнюючість при закладці, визначена по методу стандартного ущільнення, складає 1,6-1,72 т/м<sup>3</sup> при вологості 10-12%, тобто ступінь досягнутого ущільнення рівний 0,70-0,75. Цей показник шахтної гідравлічної закладки в цілому відповідає значенням, одержаних розрахунковим шляхом і прийнятих в подальших дослідженнях.

Хлориди кальцію та магнію, що містяться у відходах, шляхом дифузії можуть забруднювати розсіл, що утворюється в свердловині. Для оцінки впливу дифузійного механізму забруднення розсолу була визначена можливість забруднення розсолу іонами кальцію і магнію в лабораторних умовах. Для цього в п'яти літрових циліндрах, наповнених хлорнатрієвим розсолом, в придонну частину вводилась шламозна пульпа, приготовлена з шламів із співвідношенням Р:Т=5:1. Потім, через певні інтервали часу над зоною ущільнення відбирали проби розсолу та визначали вміст в них іонів кальцію та магнію. Результати досліджень представлені на графіку рис. 2.

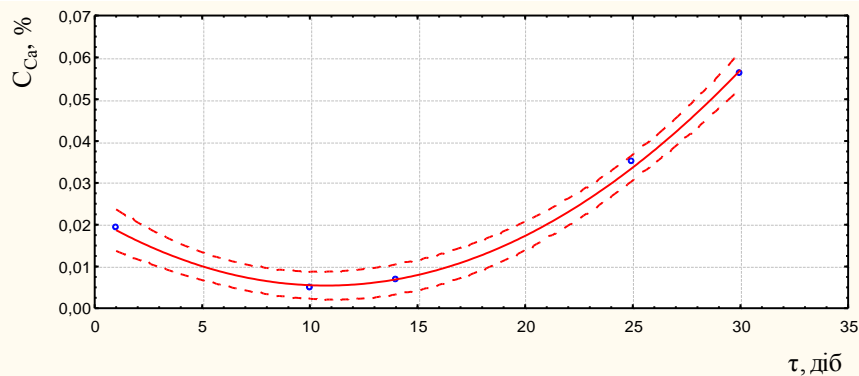


Рис. 2. Графік залежності концентрації Ca<sup>2+</sup> в розсолі від часу

З графіку видно, що вміст кальцію і магнію в розсолі за першу добу зменшується. Це зменшення носить седиментаційний характер, тобто зменшується за рахунок осідання твердих нерозчинних частинок, що є носіями досліджуваних компонентів. Після декількох діб (5-7 діб) вміст кальцію і магнію знов збільшується і носить дифузійний характер. До кінця 30 доби вміст кальцію в розсолі збільшується від 0,019 до 0,056%. Таке збільшення вмісту кальцію можна вважати допустимим, а зону з перевищенням вмісту цих компонентів відсутньою у зв'язку з тим, що концентрація іонів кальцію не перевищує допустиме значення цих іонів у вихідному розсолі для ВАТ «Лисичанська сода».

Виявлено, що залежність концентрації Ca<sup>2+</sup> в розсолі від часу описується залежністю

$$C_{Ca} = 0,0216 - 0,003 \cdot \tau + 0,0001 \cdot \tau^2 \quad (3)$$

де  $C_{Ca}$  - концентрації Ca<sup>2+</sup> в розсолі, %;  $\tau$  - кількість діб.

Відомо, що в підземних трубопроводах вода охолоджуватиметься до 10°C. Отже, передбачувана температура пульпової суспензії перед подачею їх в розсільні свердловини може досягати 10°C. У зв'язку з наявністю у воді пересичення по солях кальцію (сульфатів та карбонатів), які в процесі охолодження в трубопроводі інкрустуватимуть його стінки, були

проведені дослідження кінетики утворення карбонатних інкрустацій при змішенні і транспортуванні пульпової суспензії. Результати дослідження залежності величини інкрустацій від концентрації  $\text{CaCO}_3$ , що утворилася в розчині представлені на рис. 3. Наведені дані свідчать, що максимум кількості відкладень  $\text{CaCO}_3$  знаходиться в межах 0,5 - 2 г/л концентрації карбонату кальцію, який кристалізувався в об'ємі рідини. Це пояснюється тим, що при підвищенні концентрації утвореного  $\text{CaCO}_3$  велика частина солі кристалізується на зважених частинках, а не на стінках судини. До цього висновку приводить і представлена на рис. 4 залежність відсоткового відношення величини інкрустації до всього кристалізованого  $\text{CaCO}_3$ . В цьому випадку максимум припадає на концентрацію 0,3 - 1 г/л.

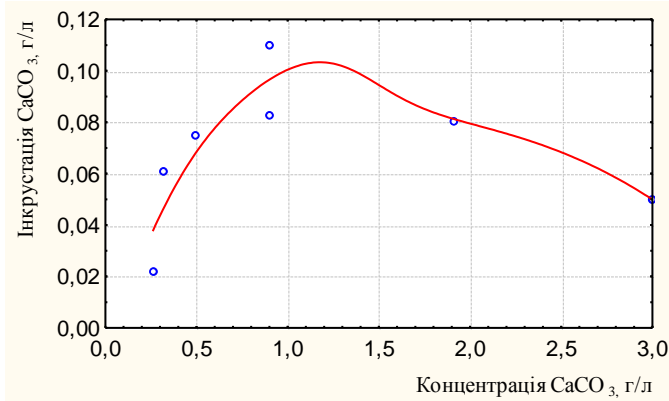


Рис. 3. Залежності величини інкрустацій від концентрації  $\text{CaCO}_3$

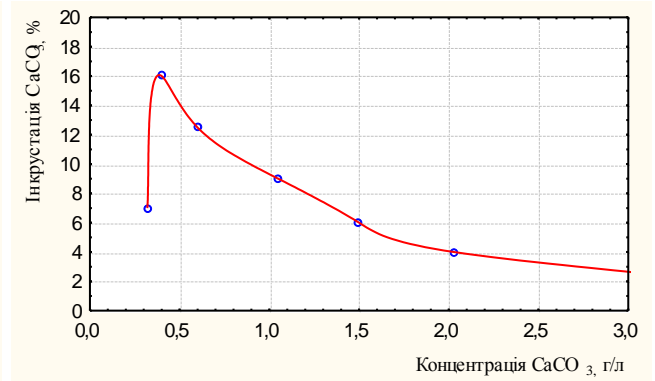


Рис. 4. Залежність відсоткового відношення величини інкрустації до всього утвореного  $\text{CaCO}_3$

Залежність на рис. 5 дозволяє стверджувати, що при підвищенні критерію Рейнольдса спостерігається зменшення кількості карбонатних інкрустацій. Очевидно, цей гідродинамічний режим сприяє доброму перемішуванню розчину і є найбільш сприятливим для виникнення кристалічного зародку в об'ємі рідини і його зростання за рахунок процесу кристалізації  $\text{CaCO}_3$ .

Досліджено вплив концентрації хлориду натрію на процес утворення інкрустації. Ці дані представлені на рис. 6 з якого видно, що в суспензіях з низьким вмістом хлориду натрію процес інкрустації суттєво інтенсифікувався. Тільки з підвищенням солемісту до 100 г/л величина інкрустацій дещо падає і досягає мінімуму досягнувши більше 250 г/л  $\text{NaCl}$ . Це обумовлено тим, що іони  $\text{Na}^+$  і  $\text{Cl}^-$ , що знаходяться в розчині у великих кількостях, можуть адсорбуватися на поверхні апарату і пригнічувати процес кристалізації на ній карбонату кальцію. Можливо це пов'язано з впливом іонів  $\text{Na}^+$  та  $\text{Cl}^-$  на поверхні, на якій можуть утворюватися карбонатні відкладення, і таким чином уповільнювати зняття пересичення  $\text{CaCO}_3$  на утворення інкрустацій.

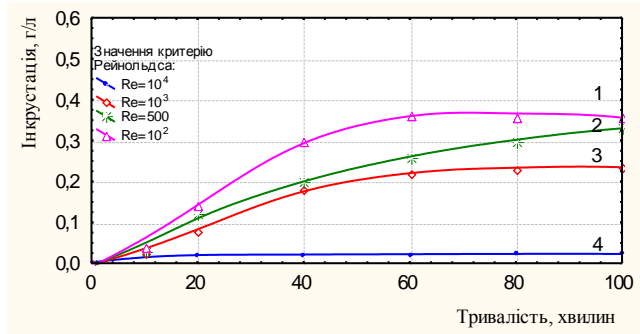


Рис. 5. Залежність швидкості утворення інкрустації від гідродинаміки та часу проведення дослідів

Залежність на рис. 7 свідчить, що вміст іонів кальцію в розчині різко падає протягом перших 7 - 9 хв. при перемішуванні рідини (криві 2, 3) і протягом 25 - 30 хв в спокійній рідині (крива 1). Ці дані вказують на те, що спочатку після утворення  $\text{CaCO}_3$  знаходиться в розчині в пересиченому стані - і у відсутність центрів кристалізації поволі утворює тверду фазу. Таким чином, для швидкого зняття перенасичення  $\text{CaCO}_3$  у розчині необхідна присутність центрів кристалізації, так званих «затравок».

Дані рис. 8 дозволяють зробити висновок, що при концентрації суспензії менше 120 мг/л величина інкрустації різко зростає, отже, в цьому випадку процес зняття перенасичення на поверхні завислих часток істотно сповільнюється у результаті недостатності центрів кристалізації.

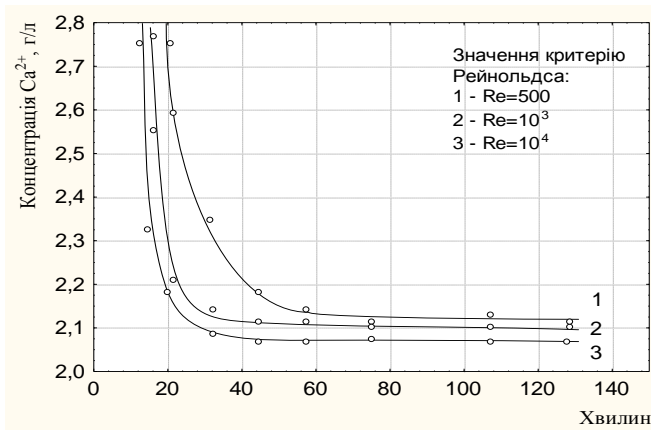


Рис 7. Динаміка зміни концентрації іонів кальцію в розчині в результаті кристалізації  $\text{CaCO}_3$

В четвертому розділі розглядаються гідродинамічні умови закладки шламу в підземні соляні камери та вплив потоків рідини на осідання твердих часток.

Основним завданням лабораторних досліджень було фізичне моделювання процесу осадконакопичування на маломасштабних моделях. Оскільки виконання всіх умов однозначності при експерименті досить важко, то здійснювалося наближене моделювання процесу.

Під час лабораторних досліджень ставилася мета визначити характер розподілу шла-мів по дну камери залежно від крупності зерен.

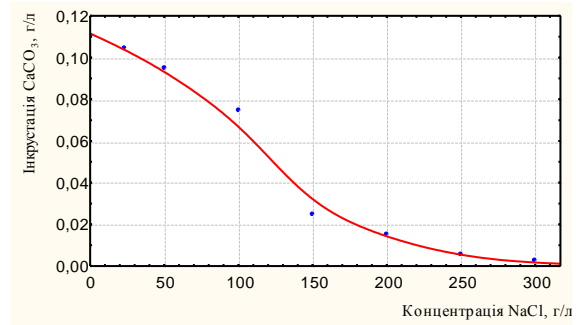


Рис. 6. Вплив концентрації хлориду натрію на процес утворення інкрустації

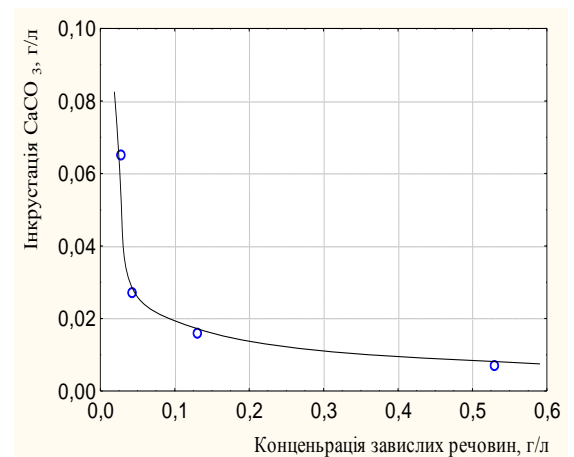


Рис. 8. Залежність величини інкрустації  $\text{CaCO}_3$  від концентрації завислих речовин

Дослідження велися на прикладі просторової циліндричної моделі камери діаметром 40 см та висотою 20 см зі вклеєною смугою кам'яної солі, яка мала певні нерівності і виступи.

Шламова пульпа готувалася з суміші твердих відходів з дослідного шламонакопичувача в концентрованому соляному розчині зі співвідношенням фаз Р:Т=5:1. Для попередження відстоювання шламу в пульпі перед подачею в шламоподаючу колону постійно переміщувалася магнітною мішалкою.

Моделювання показало, що згущена і ущільнена в нижній частині камери тверда фаза шламової пульпи має достатньо горизонтальну поверхню розділу з рідкою фазою. Було доведено, що при заливці пульпи відбувається розшарування і сортування фракцій закладного матеріалу в придонній частині камери. У місці подачі пульпи осідають частинки крупніше 0,4-0,5 мм, частинки середньої крупності (0,25-0,40 мм) розподіляються майже рівномірно по всій довжині камери. Дрібні частинки (<0,25 мм) осідають в основному в околичних частинах камери. При співвідношенні Т:Р від 1:2 до 1:5 середні кути відкладення шарів рівні 6-8°, кути відкладень крупних фракцій досягають 10-12° (для шламу кут природного скосу дорівнює 18°).

У іншій серії експериментів вивчалися різні варіанти закачування шламу і відбору розсолу, зокрема стосовно умов значного рознесення точок подачі шламу та розсолозабору. Дослідження показали, що при закладці відходів існує вірогідність підсосу твердих часок шламу із зони осадконакопичення в зону забору освітленого розсолу. Для того, щоб запобігти цьому небажаному явищу рекомендується розташовувати розсолозаборну і шламопадаючу колони на певній висоті від дна камери. Ця висота залежить від властивостей шламової суспензії, а також геометричних параметрів соляної камери. Визначення оптимальної висоти розташування шламопадаючої та розсолозаборної колон для заданих параметрів камери можливо лише шляхом вирішення осесиметричної задачі осідання шламових відходів у підземній камері із застосуванням методів математичного моделювання процесу.

Із основних рівнянь руху рідини одержано систему чотирьох диференціальних рівнянь в частинних похідних (4) – (7) для відповідних невідомих – векторної величини швидкості функції  $\mathbf{v}$  та 3-х скалярних величин: щільності  $\rho$ , концентрації твердих частинок в рідині  $c$  та тиску в рідині  $p$ .

Граничними умовами є:

- 1) умови рівності нулю швидкості рідини на стінках камери

$$\mathbf{v}|_{r=R} = 0, \mathbf{v}|_{z=H} = 0, \mathbf{v}|_{z=0} = 0;$$

- 2) умови рівності нулю градієнта концентрації по нормалі до стінки

$$\left. \frac{\partial c}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=H} = \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=0} = 0;$$

а початкові умови приймають вигляд:

- 1) рівність 0 швидкості точок рідини

$$\mathbf{v}|_{t=0} = 0;$$

2) рівність концентрації твердих частинок в рідині 0

$$c|_{r=0} = 0;$$

3) тиск в рідині розподілено гідростатично

$$p = \rho g z.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{– рівняння безперервності} \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \mathbf{v}_r) + \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial z} = 0, \quad (4) \\ \text{– рівняння Нав'є-Стокса} \\ \rho \left[ \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial t} + \mathbf{v}_r \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial r} + \mathbf{v}_z \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial z} \right] = -\frac{\partial p}{\partial z} + \eta \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial \mathbf{v}_z}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 \mathbf{v}_z}{\partial z^2} \right) + \rho g, \quad (5) \\ \text{– рівняння дифузії} \\ \rho \left[ \frac{\partial c}{\partial t} + \mathbf{v}_r \frac{\partial c}{\partial r} + \mathbf{v}_z \frac{\partial c}{\partial z} \right] = \rho D \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) + f(r, z), \quad (6) \\ \text{– залежність в'язкості розсолу від концентрації твердих частинок} \\ \eta_{km}^n = \eta_0 \left[ 1 + 0.75 \frac{c_{km}^n}{1 - c_{km}^n} \right]^2. \quad (7) \end{array} \right.$$

Отримана система рівнянь є системою нелінійних рівнянь другого порядку в частинних похідних. Оскільки її розв'язок аналітичним способом неможливий, то була реалізована схема чисельного розв'язку даної системи за допомогою сіткових методів. Оскільки отримана система є нелінійною, то рішення в одному часовому шарі уточнювалися з урахуванням зміни нелінійних параметрів.

У розрахунку були прийняті наступні значення параметрів: радіус камери  $R=100$  м, висота камери  $H=100$  м, щільність розсолу  $\rho_1=1200$  кг/м<sup>3</sup>, щільність  $\rho_2=2650$  кг/м<sup>3</sup>, початкова концентрація твердої фази шламу  $c_1=0,155$  кг/м<sup>3</sup>, діаметр шламоподаючої колони  $d_1=0,146$  м, діаметр розсолотворної колони  $d_2=0,219$  м. Були отримані поля швидкостей, концентрації, густини та тиску в камері в залежності від розташування шламоподаючої колони.

Проведені розрахунки за допомогою сіткових методів показали, що динаміка осадкоутворення залежить від розташування точки шламоподачі по відношенню до дна камери і ступеня насичення розсолу. При розташуванні точки подачі високо над дном камери ( $h_2 \approx 1/3 H_{\text{зар}}$ ,  $h_2$  - перевищення над дном), струмінь шламової суспензії ( $p > p_p$ ) опускається, зберігаючи свої контури і створює у дна камери майже горизонтальний шар осаду. Сприятливі умови осадкоутворення зберігаються у дна камери: при подачі шламового розчину, приготованого на насиченому розсолі. В цьому випадку струмінь шламу реверсує і не змучує розсіл в камері.

В п'ятому розділі представлена практична реалізація результатів дослідження гідромеханічних процесів в камері вилуговування. Розроблено рекомендації щодо вибору техно-

логічної схеми, устаткування та технологічних параметрів процесу закладки твердих відходів содового виробництва у підземних порожнинах. На підставі обраних технологічних параметрів розроблено принципову технологічну схему підготування і закладки відходів у розсільних камерах, утворених методом підземного вилуговування кам'яної солі, з одночасним видобуванням кондиційного розсолу.

Технологічна схема вузла приготування суспензії шламу для закладки в підземну камеру приведена на рис. 9 (патент України № u200804917).

З бетонного майданчика автотранспортувач (поз. 2) навантажує шлам з бункера (поз. 5), закритий колосниковими ґратами, щоб уникнути попадання в нього крупних сторонніх предметів, таких як механічні домішки, розмір яких перевищує розмір колосникових ґрат. По периметру бункера передбачена стаціонарна система змиву.

Розбавлений насиченим розсолем шлам з бункера шнековим живильником поз.6 подається в глинобовтушку діаметром 12 м (поз.7), де протягом 15-20 хвилин готується однорідна пульпова суспензія, з відношенням Р:Т=1:5. Насичений розсіл хлориду натрію на приготування суспензії подається з горизонтального апарату (поз.9), відцентровим насосом (поз.10). Під час перемішування в глинобовтушці твердої фази відходів з розсолем протягом 15-20 хвилин відбувається зняття перенасичення за карбонатом кальцію за рахунок його кристалізації в об'ємі рідини на поверхні твердих часток.

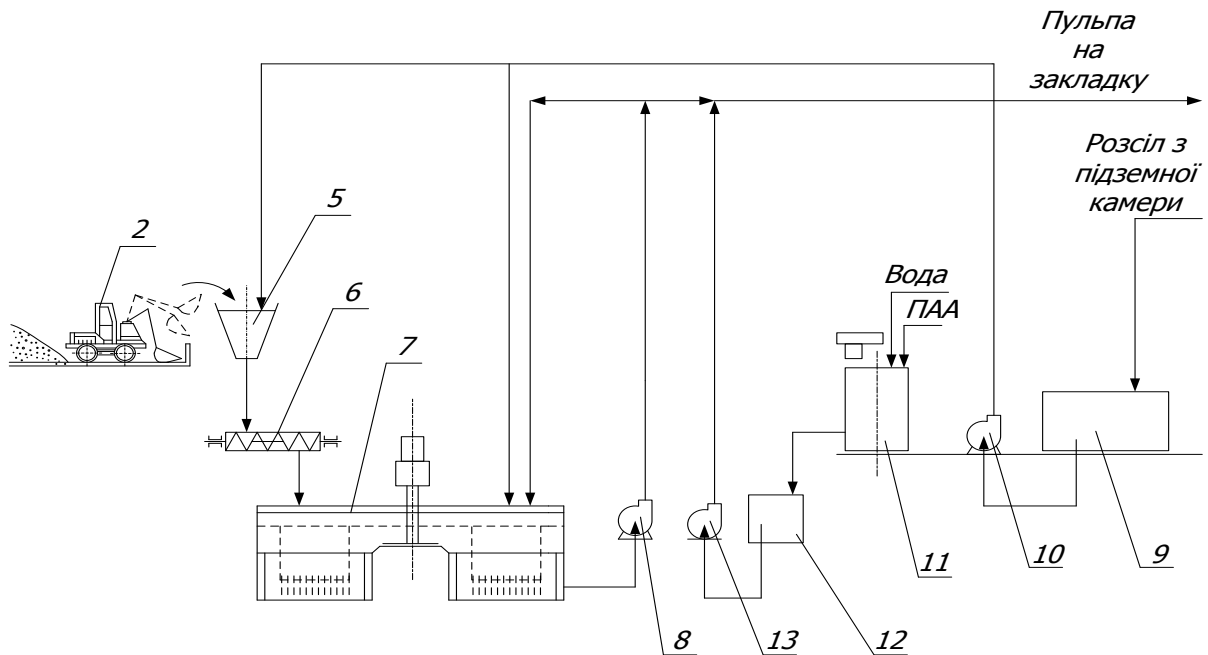


Рис. 9. Технологічна схема вузла приготування суспензії шламу для закладки в підземну камеру

Готову шламову суспензію з глинобовтушки закачують в камеру підземного вилуговування відцентровим насосом (поз.8). Перед закладкою до шламу додається флокулянт поліакриламід, що сприяє інтенсифікації процесу освітлення рідкої фази за рахунок сумісного осідання твердих часток, внаслідок чого виключається винос твердих часток з розсолем.

Витіснений з камери освітлений розсіл поступає в резервуар (поз. 9) з якого відповідна частина направляється на приготування пульпової суспензії, а решта розсолу – транспортується на виробництво соди.

Згідно узагальненої схеми закладки рис. 10, шламова пульпа вводиться в підземну соляну камеру по центральній колоні труб 6 в нижню частину камери. Водоподаюча колона 2 з установкою поблизу стелі має дифузор 3 для горизонтального напрямку води. У міжтрубні зони тампонажної 1 і водоподаючої колон закачується нерастворювач 4 (гідрофобна речовина, така як нафта, що попереджує руйнування стелі камери), а насичений розсіл видавлюється через міжтруб'є колон 5 і 6. При неможливості спуску додаткової четвертої колони процеси закладки шламу і розчинення чергуються.

Свердловину обладнують двома колонами труб: розсоліпідемною і шламоподаючою, при цьому низ шламоподаючої колони встановлюють на рівні, відповідному перевищенню над дном камери на третину від загальної висоти.

На підставі фізико-хімічних характеристик підготовленої до закачування шламової суспензії розраховують швидкості осідання шламових частинок в зоні їх вільного осідання в соляній камері (для твердих відходів Лисичанського содового заводу вона знаходиться нижче за рівень подачі шламу в камеру і по висоті відповідає  $0,3 H$ ). Спосіб може бути застосовний як для одиночних, так і сполучених (двох і більш) підземних соляних камер.

У шостому розділі представлена оцінка еколого-економічних ризиків запропонованої технологічної схеми закладки відходів содових виробництв у підземні порожнини. Проаналізовано переваги і недоліки розробленого методу. Шляхом математичного моделювання процесу закладки відходів у підземну порожнину з використанням першої теорії міцності були виконані дослідження геомеханічних процесів, що відбуваються навколо соляної камери для визначення ступеню просідання земної поверхні із закладкою відходів і без. Рішення поставленої задачі проводилось методом кінцевих елементів, реалізація якого відбувається за допомогою програмного комплексу ANSYS. Приведене завдання вирішується в два етапи. Метою першого етапу є встановлення закономірностей підвищення стійкості поточчини камери і зменшення зсувів земної поверхні в процесі ведення закладних робіт. Для вирішення цього завдання прийняті характерні умови для розсоліпромислу.

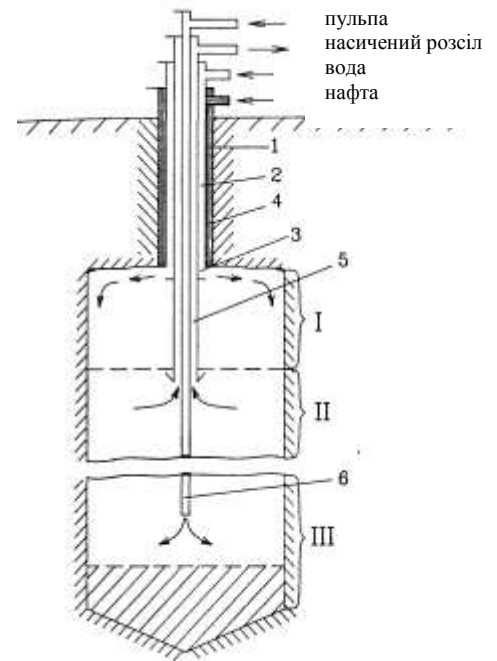


Рис. 10 Схема закладки шламу при поєднанні із видобуванням розсолу в одиночній свердловині

1 – тампонажна колона; 2 – водоподаюча колона; 3 – дифузор; 4 – нафта; 5 – розсолізаборна колона; 6 – шламоподаюча колона.

Картини розподілу вертикальних зсувів до і після проведення закладних робіт приведені на рис. 11 та 12, відповідно. Приведені на рисунках ізополя напруги дають уявлення про якісну сторону процесів, що відбуваються, проте не дозволяють їх оцінити кількісно.

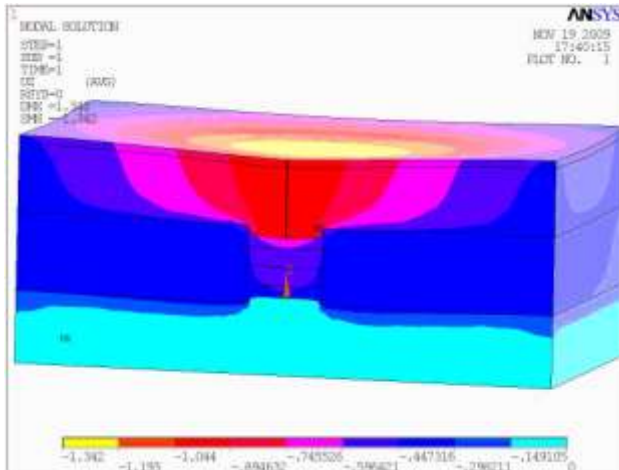


Рис. 11 – Картина розподілу вертикальних зсувів в моделі до початку закладки

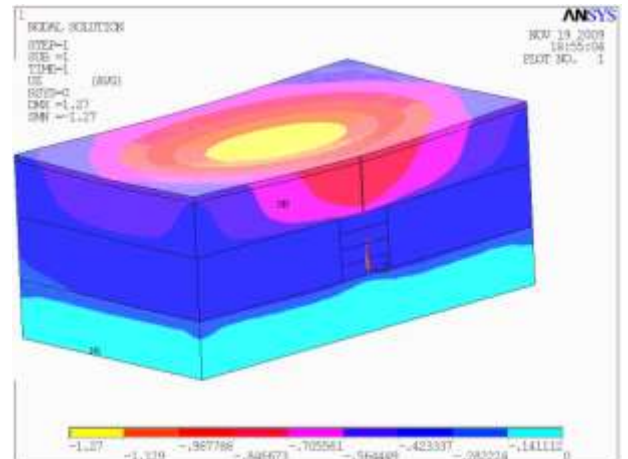


Рис. 12 – Картина розподілу вертикальних зсувів в моделі після проведення закладних робіт

Для кількісної оцінки побудовано графіки розподілу вертикальних зсувів, що реалізуються на рівні умовної осі свердловини циліндрової форми (рис. 13 та 14)

Співвідношення отриманих результатів показує, що після проведення закладки в зоні впливу камери, з урахуванням коефіцієнта надійності, можна закладати фундаменти виробничих і цивільних одноповерхових і багатоповерхових будівель з повним сталевим каркасом, будівлі і споруди, в конструкціях яких не виникають зусилля від нерівномірних осідань, проміжні прямі опори повітряних ліній електропередачі.

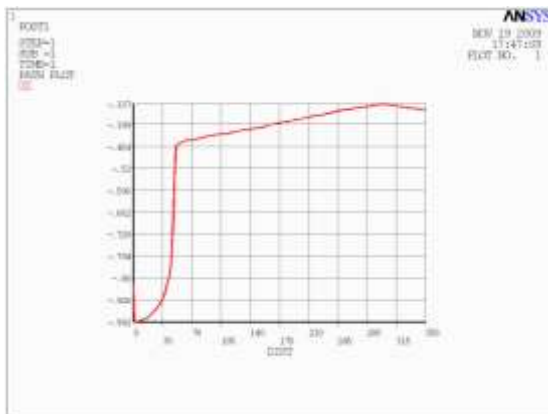


Рис. 13 – Графік зсувів земної поверхні після закладки камери

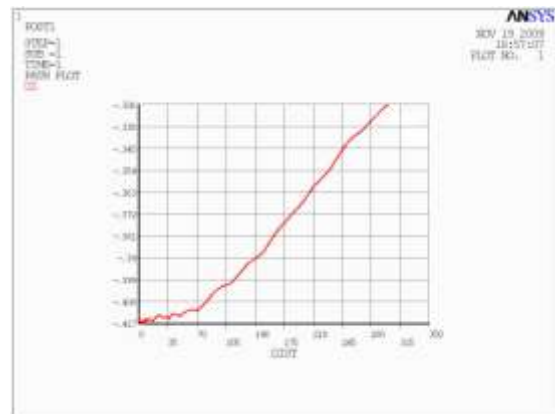


Рис. 14 – Графік зсувів порід на рівні потолочини камери після закладки

Для отримання рівняння залежності досліджуваних чинників на зсуви поверхні і потолочини камери за наслідками проведеного математичного моделювання методом кінцевих елементів, був проведений кореляційний аналіз із застосуванням програмного продукту SPSS 13.0.

Найбільш близьким виявився логарифмічний вид залежності для визначення зсувів до закладки і ступеневою – для визначення зсувів після закладки. Формули отримані для розрахунку зсувів і кореляційні відносини відповідних залежностей приведені в табл. 1



Таблиця 1. Результати кореляційного аналізу

№ п/п	Рівняння регресії	Коефіцієнт кореляції, $R^2$
1	$U_{\text{пов1}} = -0,766 \cdot \ln(D) - 0,820 \cdot \ln(H) - 0,60 \cdot \ln(L) + 0,18 \cdot H + 6,238$	0,779
2	$U_{\text{ном1}} = 0,102 \cdot \ln(D) - 0,564 \cdot \ln(H) - 0,138 \cdot \ln(L) + 0,16 \cdot H + 1,717$	0,958
3	$U_{\text{ном2}} = 4 \cdot 10^{10} \cdot H^{-8,69} + 0,02 \cdot D - 0,01L + 0,119$	0,874
4	$U_{\text{ном2}} = -424,529 \cdot H^0 + 0,02 \cdot D - 0,01L + 421,176$	0,704

де  $U_{\text{пов1}}$ ,  $U_{\text{пов2}}$  - зсуви поверхні без і з проведенням закладки відповідно, м;  $U_{\text{ном1}}$ ,  $U_{\text{ном2}}$  – зсуви потолочини камери без і з проведенням закладки відповідно, м;  $D$  – діаметр камери, м;  $H$  – глибина закладання камери, м;  $L$  – висота камери, м.

Таким чином, знаючи розміри камери і глибину її закладання, користуючись отриманими формулами можна прогнозувати зсуви без закладки і з проведенням закладних робіт, визначити рівень загрози розвитку обвалення порід і просідання земної поверхні.

Економічний ефект від закладки твердих відходів відпрацьованого шламонакопичувача ВАТ «Лисичанська сода» у підземних соляних свердловинах склав на момент розрахунку 280 тисяч гривень на рік.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу виявлення закономірностей гідромеханічних процесів розділення суспензії твердих відходів содового виробництва підчас закладки у підземних порожнинах, умов транспортування суспензії твердих нетоксичних відходів у розсолі до місць їх захоронення. В наслідок проведених досліджень зроблено наступні висновки:

1. Аналіз літературних джерел та проведені патентні дослідження показали перспективність використання підземних порожнин з контрольованими геометричними параметрами, утворених підземним розчиненням кам'яної солі, для закладки твердих нетоксичних відходів, таких як відходи содового виробництва.

2. Виконані дослідження дозволили рекомендувати проведення стадії приготування шламової суспензії. Визначено, що відношення рідкої до твердої фази повинно бути в межах від 5 до 6. Для інтенсифікації процесу освітлення рідкої фази в соляній камері та запобігання виносу твердої фази з розсолом доцільно використовувати поліакриламід в кількості 30 г на 1 тону твердих відходів.

3. Дослідження можливості забруднення розсолу іонами кальцію та магнію при незначному вмісту луг показало, що перехід цих іонів дуже незначний та майже не впливає на кондицію розсолу.

4. Дослідження кінетики утворення карбонатних відкладень показали, що для зняття перенасичення по карбонату кальцію, за умов зниження температури при транспортуванні та похованні в порожнинах, достатньо перемішувати суспензію в присутності завислих часток в кількості не менш ніж 120-140 мг/л протягом 15-20 хвилин. Також треба зазначити, що вико-

ристання в якості рідкої фази суспензії концентрованого соляного розсолу попереджає випадання карбонатних інкрустацій.

5. Виявлено основні закономірності впливу гідродинаміки в соляній камері на процес осідання твердих часток пульпової суспензії. Гідродинамічна структура камери вилуговування сприяє виключенню винесення осідаючих частинок з камери через розсолопід'ємну колону. За часом оновлення рідини в об'ємі камери рідиною (а, отже, і часу що надається для осідання), що нагнітається, і структурі гідродинамічних потоків камера вилуговування є якісним відстійником.

6. На підставі математичного моделювання седиментаційних та гідродинамічних процесів в соляній камері визначено оптимальну глибину розташування шламopодаючої колони, яка знаходиться в діапазоні 0,3-0,4 висоти камери.

7. Розроблено математичну модель оцінки зсувів земної поверхні навколо соляних камер, яка дозволяє прогнозувати змінення стійкості земної поверхні при закладці підземної порожнини твердими відходами. Доказано, що використання твердих відходів як тампонажного матеріалу підвищує міцність земної поверхні над камерою та сприяє зниженню просідання пластів ґрунту навколо неї.

8. На підставі отриманого експериментального і теоретичного матеріалу розроблено рекомендації щодо процесів під час приготування, транспортування і закладки твердих відходів содового виробництва у відпрацьованих соляних камерах з одночасним видобуванням розсолу, які дозволяють використати тверді відходи виробництва соди в якості тампонажного матеріалу і підвищити стійкість земної поверхні над підземними порожнинами промислового походження.

10. Розроблені рекомендації прийняті до впровадження на ВАТ „Лисичанська сода” (м. Лисичанськ) при вдосконаленні виробництва кальцинованої соди. Результати дисертаційної роботи впроваджено в навчальний процес кафедри хімічної техніки та промислової екології НТУ „ХПІ” при викладанні спеціальних дисциплін, курсовому та дипломному проектуванні за спеціальностями 8.070220, 8.070221 та 8.070801.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шестопапов О. В. Влияние структуры потоков жидкости в камере выщелачивания поваренной соли на процессы осаждения твердых частиц / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2006. – №42. – С. 104-108.

Здобувачем виявлено основні закономірності впливу гідродинамічних факторів в соляній камері на процес осідання твердих часток.

2. Шестопапов О. В. Технические решения по захоронению и закладке отходов химических производств в соляных камерах / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2007. – №11. – С.103-108

Здобувачем проаналізовано технології закладки відходів хімічних виробництв у підземних порожнинах, зокрема у розсільних свердловинах. Показано перспективність і переваги розробки метода закладки відходів содового виробництва у соляних камерах.

3. Шестопапов О. В. Утилизация сточных вод содовых заводов путем их использования в качестве растворителя каменной соли / Шестопапов О. В., Цейтлин М. А., Райко В. Ф. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". – Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – №3. – С.40-47

Здобувачем було вирішено питання заміни еквівалентної кількості прісної води, яку використовують в якості розчинника, виробничими стічними водами. Представлені результати досліджень стабільності сумішей стічних вод содових підприємств при їх підготовці для транспортування по трубопроводу до розсільних свердловин. Запропоновано принципову технологічну схему підготовки стічних вод для транспортування до соляної камери.

4. Шестопапов О. В. Дослідження процесу закачування шламів у відпрацьовані соляні свердловини на маломасштабних моделях // Інтегровані технології та енергозбереження – Харків: НТУ «ХПІ», 2008. – №1. – С. 37-45

Здобувачем здійснено фізичне моделювання процесу закачування шламів у підземні порожнини і узагальнено отримані експериментальні дані. Описано умови подібності процесів на маломасштабних моделях. Досліджено процес осідання, формування осаду і ущільнення твердої фази відходів содових виробництв у соляній камері.

5. Дослідження процесу осідання твердої фази пульпової суспензії при транспортуванні і похованні відходів содового виробництва / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф., Лясота О. В. // Вісник Тернопільського державного технічного університету імені І. Пулюя. – Тернопіль: ТДТУ, 2008. – №4. – С. 215 – 221.

Здобувачем проведено дослідження осідання твердої фази пульпової суспензії із застосуванням домішок. Визначено, що осідання твердої фази відходів содового виробництва найбільш інтенсивно відбувається в присутності поліакриламід.

6. Шестопапов О. В. Дослідження кінетики утворення карбонатних інкрустацій при змішенні і транспортуванні пульпової суспензії. / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ", 2008. – №8. – С. 28 – 33.

Здобувачем проведено дослідження можливості утворення карбонатних інкрустацій при змішенні і транспортуванні відходів содового виробництва. На основі експериментальних даних запропонований механізм стабілізації шламу перед транспортуванням до соляних камер.

7. Шестопапов О. В. Вплив гідродинаміки на осідання твердої фази відходів содового виробництва в камері вилуговування. / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф. // Східно-Європейський журнал передових технологій. Харків: Технологічний центр, 2008 – №6/4 (36) – С. 50 – 55.

Здобувачем шляхом моделювання отримані залежності швидкостей руху рідини від радіусу камери. Визначено, що рух рідини в підземній соляній камері, який викликається механічними силами, сприяє осіданню твердих часток.

8. Шестопапов О. В. Моделювання процесу осідання твердої фази в соляній камері під час закладки її відходами / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ", 2010. – №4. – С. 18 – 24.

Здобувачем розроблено математичну модель осідання твердої фази в соляній камері під час закладки її відходами, на підставі якої можливо прогнозувати розподіл концентрації відходів та густини розчину по всьому об'ємі камери.

9. Пат. №35317 А Україна, МПК 7 B65G5/00, E21F 17/16. Спосіб закладки твердих відходів содових виробництв в підземних соляних камерах / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф.; заявник та власник патенту Шестопапов О. В. - № u200804917; заявл. 16.04.2008 ; опубл. 10.09.2008, Бюл. № 17

Здобувачем запропоновано спосіб закладки твердих відходів содових виробництв в підземних соляних камерах з одночасним видовбуванням розсолу.

10. Шестопапов О. В. Исследование стабильности химических смесей, составленных из промышленных сточных вод содового завода / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф.: матеріали V Міжнародної конференції "Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки", (Чернівці, 5-6 травня 2006 р.) // Чернівці: "Зелена буква", 2006. – С. 391-394.

Здобувачем проведено дослідження стабільності хімічного складу стічних вод содових підприємств, перспективних для закладки у соляних камерах, з одночасною утилізацією рідкої фази шляхом використання її в якості розчинника кам'яної солі при видобуванні хлорнатрієвих розсолів.

11. Шестопапов О. В. Технология утилизации отходов содового производства в отработанных соляных скважинах / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А. // Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (Київ, 17-19 травня, 2006 р.) // Київ: НТУУ «КПІ», 2006. – С. 145

Здобувачем запропоновано використання твердих відходів содових виробництв в якості тампонажного матеріалу для підвищення стійкості земної поверхні зони розсолотроми.

12. Шестопапов О. В. Закладка отходов содового производства в отработанные соляные скважины / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А.: тези доп. V Міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів» (Донецьк, 11-13 квітня 2006 р.) // Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 40-41

Здобувачем проведено дослідження процесу осідання твердої фази відходів содових виробництв у розсолі в присутності домішок, на підставі чого були надані рекомендації по вибору устаткування для транспортування відходів на закладку.

13. Шестопапов О. В. Утилизация отходов содового производства путем их закладки в подземные пустоты / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Адамчук Б. І. : тези доп. Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів «Екологічна безпека держави», (Київ, 17-20 квітня 2007 р.) // Київ: НТУУ «КПІ», 2007. – С. 134-136

Здобувачем запропоновано схему закладки шламу, який містить відходи содових виробництв, у соляну камери з одночасним видобуванням розсолу шляхом розчинення кам'яної солі.

14. Утилизация твердых отходов содового производства. / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф., Естефане П. Х.: тези доп. XII науково-методичної конференції «Людина та навколишнє середовище—проблеми безперервної екологічної освіти в вузах», (Одеса, 12-15 вересня 2007 р.) // Одеса: «Ізмаїл», 2007. – С. 110

Здобувачем запропоновано закладки відходів содових виробництв, які не мають економічно обґрунтованих методів утилізації, у розсільні свердловини з метою підвищення рівня екологічної безпеки виробництва соди і зменшення негативного впливу гірничої промисловості.

15. Шестопапов О. В. Дослідження процесу закачування шламів у відпрацьовані соляні свердловини на маломасштабних моделях / Шестопапов О. В., Цейтлін М. А., Райко В. Ф.: матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів «Екологічна безпека держави», (Київ, 15-18 квітня 2008 р.) // Київ: НАУ, 2008. – С. 161-162

Здобувачем досліджено процеси седиментації шламу з шламової пульпи, дифузія іонів кальцію і магнію у надпульпову зону розсолу, формування зони шламів, що ущільнюються. Представлені рекомендації для запобігання виносу дрібнодисперсних часток з камери з розсолом.

## АНОТАЦІЇ

**Шестопапов О. В. Закономірності гідромеханічних процесів утилізації твердих відходів содового виробництва. – Рукопис**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2010 р.

Дисертаційну роботу присвячено виявленню гідромеханічних закономірностей процесу закладки твердих відходів содових виробництв у відпрацьованих соляних камерах. В роботі всебічно досліджено процеси підготовки, транспортування і закладки пульпової суспензії, яка містить відходи виробництва соди, до соляних порожнин.

Одержано нові математичні залежності процесів осідання і ущільнення твердої фази шламів під впливом гідродинаміки у розсільних камерах. Розроблено технологічну схему закладки відходів у камери вилуговування з одночасною утилізацією рідкої фази шламу при видобуванні розсолу.

Розроблена математична модель прогнозування стійкості покрівлі підземної камери-відстійника в процесі утилізації відходів содового виробництва.

Ключові слова: гідромеханічні процеси, утилізація відходів, содове виробництво, підземна камера-відстійник, пульпова суспензія, тверда фаза, розсіл.

**Шестопапов А. В. Закономерности гидромеханических процессов утилизации отходов содового производства. - Рукопись** Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и аппараты химической технологии. - Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, 2010 г.

Диссертационную работу посвящено выявлению основных гидромеханических закономерностей процесса захоронения твердых отходов содовых производств в отработанных соляных камерах. В работе всесторонне исследовано процессы подготовки, стабилизации, транспортировки и закладки пульповой суспензии, содержащей отходы производства соды, в соляные пустоты.

Исследованы процессы оседания, формирование осадка и уплотнения твердой фазы отходов содовых производств в соляной камере, диффузия ионов кальция и магния в надпульповую зону рассола, формирования зоны уплотнения шламов при утилизации отходов содовых производств в подземных камерах промышленного происхождения в качестве тампонажного материала.

Предложена математическая модель влияния структуры потоков жидкости в подземной камере выщелачивания на процесс осаждения твердой фазы, которая позволяет определить оптимальное расположение шламоподающей и рассолозаборной колонн, препятствующее загрязнению кондиционного рассола мелкодисперсными частицами твердой фазы отходов. Установлено, что гидродинамическая структура камеры выщелачивания препятствует выносу оседающих частиц из камеры через рассолоподъемную колонну при расположении шламопадающей колонны на высоте  $0,3H-0,4H$  над дном камеры. По времени обновления жидкости в объеме камеры-отстойника и структуре гидродинамических потоков камеры выщелачивания является идеальным отстойником и герметичным резервуаром.

Разработаны рекомендации по выбору технологических параметров закладки отходов в отработанные соляные скважины для предотвращения выноса мелкодисперсных частиц из камеры с рассолом. Выполненные исследования позволили рекомендовать проведение стадии приготовления шламовой суспензии при соотношении жидкой и твердой фаз в пределах от 5 до 6. Для интенсификации процесса осветления жидкой фазы в соляной камере и предотвращение выноса твердой фазы с рассолом целесообразно использовать полиакриламид в количестве 30 г на 1 тонну твердых отходов.

Проведено исследование возможности коррозии оборудования и образования карбонатных инкрустаций при смешении и транспортировке отходов содового производства. Установлено, что наличие в пульповой суспензии взвешенных частиц в количестве не менее чем 120-140 мг/л способствует снятию перенасыщения по карбонату кальция и значительно снижает инкрустацию трубопровода за счет кристаллизации  $\text{CaCO}_3$  на их поверхности. На основе экспериментальных данных предложенный механизм стабилизации шлама перед транспортировкой к соляным камерам.

Разработана технологическая схема закладки отходов в камеры выщелачивания с одновременной утилизацией жидкой фазы шлама при добыче рассола. Данный способ защищен патентом Украины на полезную модель.

Определен эколого-экономический эффект от применения разработанной технологии утилизации отходов производства соды. Путем математического моделирования доказано, что закладка твердых отходов содовых производств в отработанные соляные камеры повышают прочность кровли камер-отстойников. Разработанная модель оценки стойкости земной поверхности вокруг отработанных камер выщелачивания позволяет прогнозировать степень смещения земной поверхности при закладке отходов содовых производств в виде пульповой суспензии в зависимости от физико-химических характеристик отходов и свойств земной коры вокруг подземных камер промышленного происхождения.

Ключевые слова: гидромеханические процессы, утилизация отходов, производство соды, подземная камера-отстойник, пульповая суспензия, твердая фаза, рассол.

**Shestopalov A. V. Conformities to the law of hydromechanical processes of utilization soda productions wastes. Manuscript.**

Dissertation on reception of scientific degree of candidate of engineering sciences on specialty 05.17.08 – processes and equipments of chemical technology. – National technical university «Kharkov polytechnic institute», Kharkov, 2010

The dissertation work is concerned with the formulation of fundamental regularities of the containment of solid wastes process of soda production in waste salt vault.

Transport process and pulpar suspension containment to saline cavities that includes soda production wastes were investigated in detail.

New mathematical functions of subsidence and caulking process of spent slurry solid phase under the action of hydrodynamics in brine chambers were achieved. Process scheme of wastes containment in desalination chambers with simultaneous utilization of spent slurry liquid phase in the process of brine lifting.

Mathematical model of prognostication of firmness of roof of underground chamber in the process of utilization of soda productions wastes was developed

Key words: hydromechanical processes, utilization of wastes, soda production, underground cavities, pulpar suspension, hard phase, brine.