

Zolotovs'ka O.V.

associate professor department of tractors and agricultural machinery
Dniprovsk state university of agriculture and economics

WARMTH ACCUMULATION MODELING BY SOLAR INSTALLATION

Золотовська Олена Володимирівна

кандидат технічних наук, доцент

кафедри тракторів і сільськогосподарських машин

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ТЕПЛОТИ СОНЯЧНОЮ УСТАНОВКОЮ

Анотація. В статті наведені результати теоретичних досліджень накопичення тепла. Приведена модель розрахунку зміни температури в часі в тепловому пристрої сонячної установки. Запропоновано технічне рішення, яке дозволяє використати переваги систем опалення при впровадженні сонячних колекторів з сумісним нагрівом повітря та рідинного теплоносія.

Summary. Results of theoretical researches of accumulation of heat are given in article. The model of calculation of temperature change is given in time in thermal devices of solar installation. Technical solution which allows to use advantages of heating systems at introduction of solar collectors with compatible heating of air and the liquid heat carrier is proposed.

Ключові слова: накопичення тепла, сонячна установка, температура.

Постановка проблеми. В останній час інтерес щодо використання сонячної енергії зростає. Тому, що її запаси можна віднести до поновлювальних енергоресурсів. Результатом реалізації сучасних технологій є використання енергії сонця колекторами. Поширеною помилкою є думка про недоцільність використання сонячних водонагрівачів, з яким у нас асоціюється бак, пофарбований у темний колір, на даху душевої kabini. Ефективність даної системи нагріву води невисока, а її використання обмежене теплою порою року. Сучасні технології дозволяють використовувати сонячну енергію навіть взимку. А саме дозволяють вирішити питання для автономного теплопостачання; в сільському господарстві при сушінні різних продуктів; акумулюванні сонячного тепла для теплиць; використання гарячої води в технологічних цілях, в промисловості та інше [1].

На жаль енергія сонця практично не використовується в системах опалення та технологічного теплопостачання. Можливо, це пояснюється відсутністю інженерних напрацювань у даній сфері. Сонячна енергетика повинна переплітатися з техніко-економічними реаліями нашої країни та відповідати таким вимогам: не висока вартість обладнання, впровадження у відповідній галузі, науково-інженерний підхід до впровадження сонячного теплопостачання [2].

У розвитку сонячної енергетики важливим кроком є використання систем, де теплоносієм являється повітря. Тому що повітряні системи володіють такими перевагами, як відсутність можливості розмерзання та затоплення систем та обладнання, більш високий коефіцієнт використання сонячної енергії, простіший в управлінні.

Основними елементами активної сонячної системи є: геліоприймач, акумулюючий пристрій теплоти, додаткове джерело енергії, споживач. Отже, для теплопостачання приміщення розробили принципову схему (рис. 1), яка відрізняється тим, що має три контури циркуляції подачі тепла: два рідинних та один повітряний:

– перший контур, що складається з сонячних колекторів 1, циркуляційного насоса 8 і рідинного теплообмінника 3;

– другий контур, що складається з акумулятора тепла 2, циркуляційного насоса 8 і теплообмінника 3, системи гарячого водопостачання 7;

– третій контур, що складається з водоповітряного теплообмінника (калорифера) 5, вентилятора 9, система повітряного опалення 6, бак-акумулятор 2.

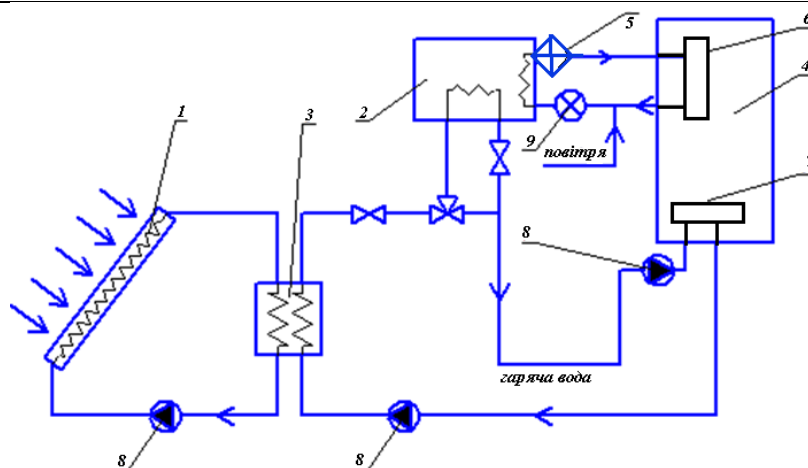


Рисунок 1 – Схема системи сонячного теплопостачання:

1 - сонячний колектор; 2 – акумулятор тепла; 3 - теплообмінник;
4 - приміщення; 5 - калорифер; 6 - система повітряного опалення; 7 – система гарячого водопостачання; 8 - циркуляційний насос; 9 - вентилятор.

Вибір і компонування елементів системи сонячного теплопостачання в кожному конкретному випадку є досить складним завданням і визначається кліматичними факторами, призначенням, режимом теплоспоживання, економічними показниками. Можна визначити наступні вимоги щодо схемного вирішення комбінованих сонячних установок:

- необхідно забезпечувати уловлювання максимально можливої кількості сонячної енергії, що досягається зниженням середнього рівня температури теплоносія в колекторі і використанням ефективного колектора;

- слід виходити з того, що сонячна енергія повинна використовуватися для попереднього підігрівання теплоносія, тоді як додаткове джерело енергії (паливо або електроенергія) – для доведення теплоносія до необхідної температури. При такому підході забезпечується максимальна економія пального завдяки найбільш ефективному використанню сонячної енергії;

- необхідно уникати змішення середовищ із різними рівнями температури в акумуляторі теплоти, зокрема, з цієї точки зору необхідно здійснювати підведення теплоти від дублера безпосередньо в бак-акумулятор сонячної установки.

Застосування даної схеми дозволяє використати переваги систем опалення при впровадженні сонячних колекторів з сумісним нагрівом повітря та рідинного теплоносія. Поліпшення мікроклімату в приміщені, тому що

нагрів повітря на 40–70 °С достатній для вентиляції. Відсутність проміжного теплоносія, що дозволяє відмовитися від водяного опалення. Взимку виключає ризик розморожування системи. А також, запропонована схема повинна задовольняти потребам в гарячій воді на технологічні нужди сільгоспвиробництва з відповідними нормами технологічного проектування як для тваринницьких, адміністративних так і для житлових приміщень.

Таким чином, метою роботи є дослідження акумулювання тепла в схемі сонячної установки з урахуванням її ефективності.

Оскільки в схемі передбачено накопичення теплоти, для використання її в холодну пору року, тому змодельовано акумулювання енергії в системі. (рис. 2) Теплові акумулятори в складі опалення виконують роль накопичувачів гарячої води. Це дозволяє забезпечувати споживача гарячою водою за будь-яким графіком незалежно від циклу надходження сонячної енергії. Найбільш важливими властивостями ТА вважається високий коефіцієнт корисної дії та довговічність експлуатації. Здатність теплового акумулятора зберігати температуру накопиченої води забезпечується застосуванням пасивного теплозахисту. Для цього поверхню акумулятора покривають шаром теплоізоляційних матеріалів. Метод розрахунку втрат через теплову ізоляцію базується на рівняннях стаціонарної теплопровідності.

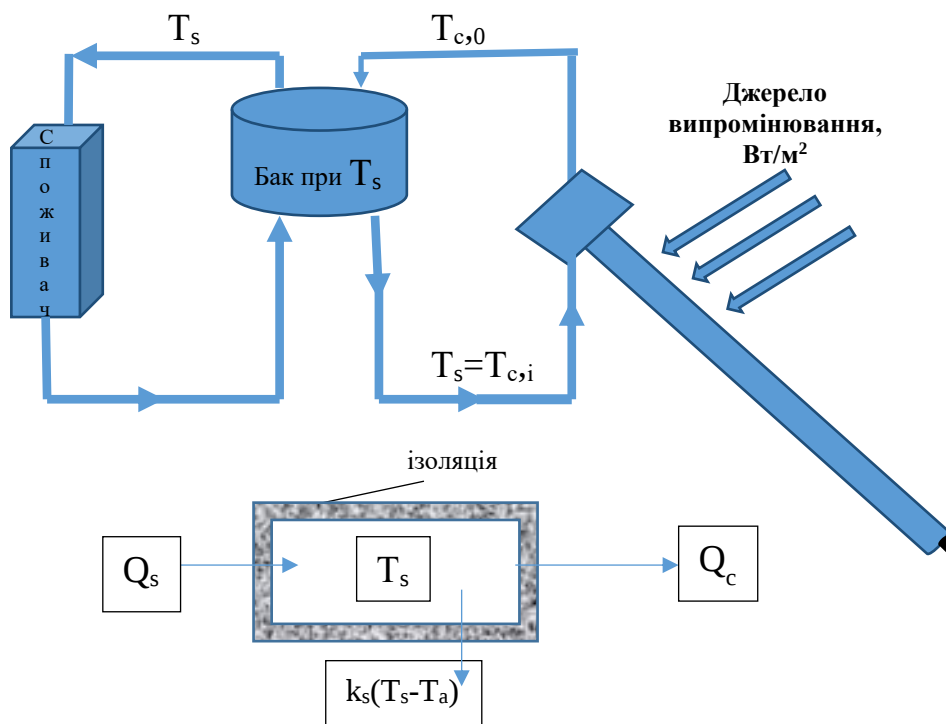


Рисунок 2 – Модель системи акумуляції тепла

Енергетична акумулююча здатність рідинного акумулятора, який працює при різниці температур, описується звичайним рівнянням (1):

$$Q = (mC_p)_s (T_1 - T_2) \quad (1)$$

де C_p – теплоємність m кг води в акумуляторі при нагріві в інтервалі температур $T_1 - T_2$.

Тому напишемо рівняння балансу енергії для бака у відповідності до схеми рисунка 2:

$$(mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} = Q_s - Q_c - k_s(T_s - T_n) \quad (2)$$

Для розрахунку використали такі дані: $k_s = 40$ кДж/(год °C), маса води 1500 кг, при цьому бак розміщено в приміщенні з температурою 20°C, та розглянутий період в баку починається при температурі 45 °C. В даному приближенні

де Q_s та Q_c – теплова енергія, яка надходить від колектору та яка відводиться до споживача, Дж;

T_s – температура яка потрапляє до споживача, яка змінюється у часі в оточуючому середовищі з температурою T_n .

Звідси, завдяки рівнянню (2) для бака акумулятора можна визначити зміну температури в часі. При чому теплові енергії задані як функції часу.

Використовуючи інтегрування по методу Ейлера обчислюється температура акумулятора на протязі доби.

Енергетичний баланс бака-акумулятора описується рівнянням (2), яке для кінцевого припущення часу має вигляд:

$$T_{s, \text{кінцева}} = T_{s, \text{почат}} + \frac{\Delta T}{(mC_p)_s} [Q_s - Q_c - k_s(T_{s, \text{почат}} - T_n)] \quad (3)$$

температура бака-акумулятора в кінці кожної години розрахована по температурі на початку цієї години по відомим надходженням та витратам енергії та в припущенні, що член, який описує втрати тепла за годинний період є сталим. Результати розрахунку представлені на рис. 3.

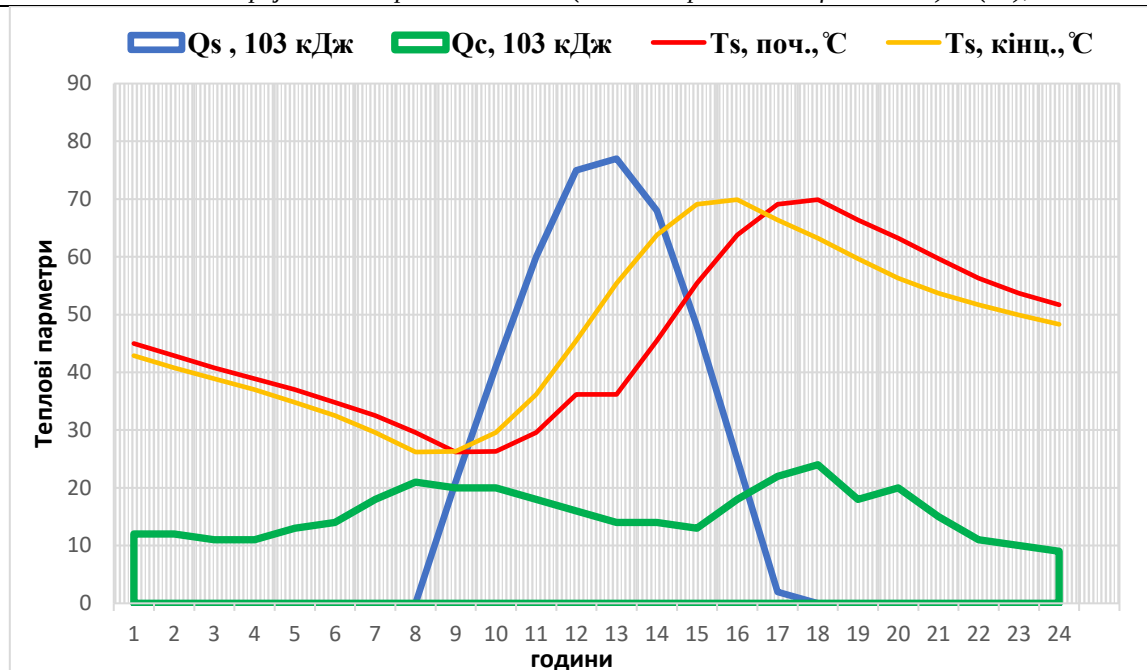


Рисунок 3 – Моделювання акумуляції тепла протягом доби

Згідно розрахункових даних отримали, що в період від 9⁰⁰ години до 14⁰⁰ спостерігалось зростання температури до 70 °C і звісно збільшення поглинання теплової енергії колектором від 20 · 10³ кДж до 70 · 10³ кДж. В подальшому зниженні температури оточуючого середовища спостерігалась сталість температури в бакі-

акумуляторі до 19⁰⁰. Слід зазначити, що теплова енергія споживача практично не змінювалась. Отже, накопичення тепла баком-акумулятором в зазначений період дає можливість користуватись теплом на протязі доби.

Рівняння сонячного колектору та бака-акумулятора можна об'єднати в одне рівняння:

$$(mC_p)_s \frac{dT_s}{dt} = A_c F_R [S - Q_L(T_s - T_n)] - k_s(T_s - T_{\text{кімн}}) - (mC_p)_L(T_s - T_L) \quad (4)$$

Повна корисна енергія колектору, яка може бути розрахована в функції температури рідини на вході в колектор, Дж:

$$Q_s = A_s F_R [S - Q_L(T_{f,i} - T_n)] \quad (5)$$

Очевидно, що корисна енергія у формі (5) зручна при дослідженні сонячних енергетичних установок, тому що температура рідини на вході зазвичай відома. Однак, необхідно пам'ятати, що втрати, визначені по температурі рідини на вході, значно малі, оскільки тепло втрачається по всій довжині колектору, а температура рідини в направленні потоку безперервно зростає.

Коефіцієнт відведення тепла F_R вводиться в якості поправки, яка зменшує значення корисної енергії при умові, що вся поверхня колектору знаходиться при температурі рідини на вході $T_{f,i}$, до фактичного значення корисної енергії.

$$F_R = \frac{GC_p}{Q_L} \left(1 - e^{-\frac{Q_L F}{GC_p}} \right) \quad (6)$$

Із збільшенням витрат рідини через колектор перепад температур ($T_{f,o} - T_{f,i}$) зменшується. Це призводить до зниження втрат тепла в оточуюче середовище та відповідному збільшенню корисної енергії, оскільки середня температура колектору зменшується. Збільшення корисної енергії зі зростанням витрати рідини проявляється у збільшенні коефіцієнта відведення тепла з колектору. Зауважимо, що при нескінченному збільшенню витрат різниця температур на вході та виході з колектору прямує до нуля, однак температура поглинальної поверхні буде вища температури рідини.

Отже, використовуючи метод Ейлера, представим похідну $dT/d\tau$ вигляді $(T_{s, \text{кінц}} - T_{s, \text{поч}})/\Delta\tau$ та виразимо зміну температури акумулятора через відомі величини:

$$T_{s, \text{кінц}} - T_{s, \text{поч}} = \frac{\Delta\tau}{(mC_p)_s} \left[A_c F_R (S - Q_L(T_{s, \text{поч}} - T_n)) - k_s(T_{s, \text{поч}} - T_{s, \text{кім}}) - (mC_p)_s \cdot (T_{s, \text{поч}} - T_{L, \tau}) \right] \quad (7)$$

Для зручності напишемо вираз (7) у вигляді наступного виразу:

$$T_{s, \text{кінц}} - T_{s, \text{почат}} = \frac{\Delta \tau}{(mc_p)_s} [Q_s - Q_{\text{втрати}} - Q_{\text{навантаження}}] \quad (8)$$

В даному випадку крок розбиття часу в одну годину гарантує стійкість рішення. При підстановці значень параметрів в кДж в рівняння (7) отримуємо рішення для кожного кроку (рис. 4).

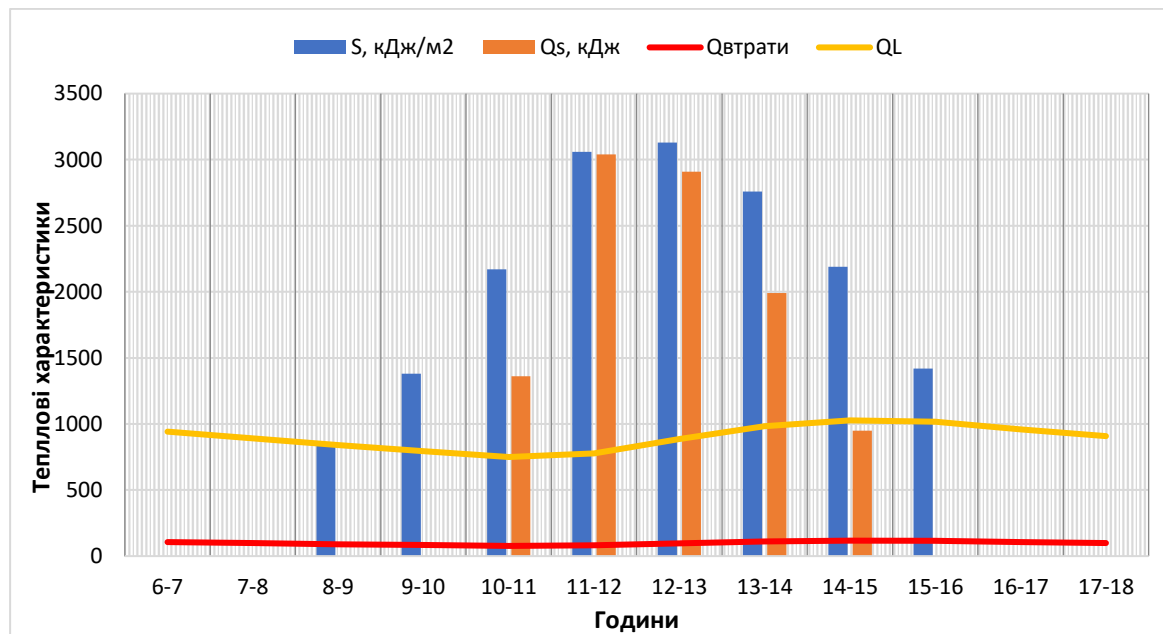


Рисунок 4 – Моделювання колектора з баком акумулятором при змінній температурі $T_{s, \text{поч}}$ кожної години

Таким чином, з розрахунків при поглинальній енергії до 3100 кДж отримуємо високі показники корисної енергії колектору, при цьому навантаження для системи практично не змінюється. Це свідчить, що в системі колектор-бак-акумулятор втрати тепла мають 3%. Очевидно, слід розглянути ізоляцію бака та температуру оточуючого середовища, в якому він знаходиться.

Отже, кінцева температура дорівнює 55,9 °C. Зміна внутрішньої енергії складає -1719 кДж, що практично дорівнює ΣQ . В даному випадку навантаження було задане у вигляді сталої витрати незалежно від температури. При зміні витрат в залежності від часу зміна температури в часі мала мати зовсім інший характер.

Тому для доцільності теоретичного дослідження проаналізовано показник

ефективності сонячного колектору, який дорівнює відношенню теплопродуктивності колектору до кількості сонячної енергії:

$$\eta_k = \frac{Q_k}{E_k A} \quad (9)$$

де Q_k – теплопродуктивність колектору, Вт
 E_k – кількість сонячної енергії, яка потрапляє на 1 м² поглинаючої поверхні, Вт/м²

A – площа поглинаючої поверхні, м²

Величина добового ккд не може дорівнювати середньому значенню годинних ккд, тому добовий ккд колектору знаходиться з формули:

$$\eta_{\text{доб}} = \frac{\Sigma Q_s}{A \Sigma E_n} \quad (10)$$

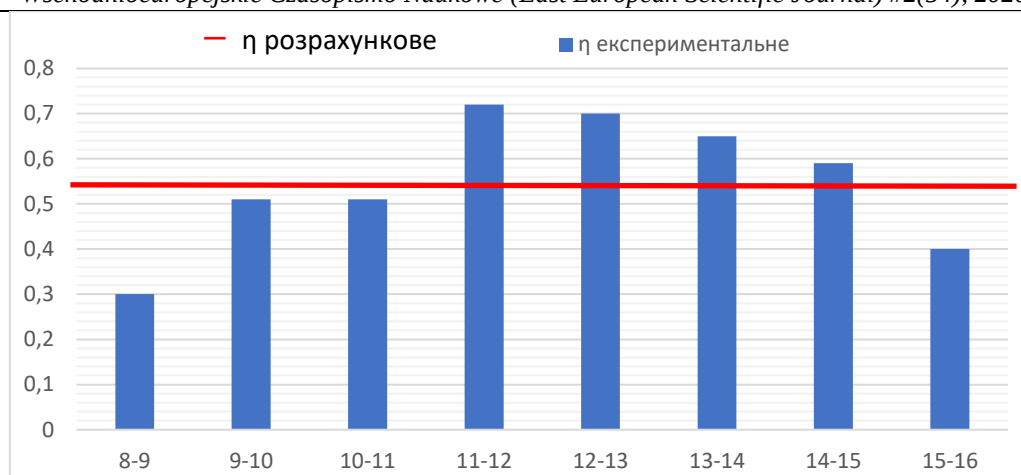


Рисунок 5 – Залежність ккд протягом дня

Отже, експериментальні дослідження приведені в роботі [4], свідчать, що показники сонячної активності впродовж дня на дослідній установці (при температурі оточуючого середовища 18°C) вказують на те що при сонячній активності 700 Вт/м² температура мідного нагрівача сонячного колектора в 10 годин піднімалася до 77 °C при цьому на батареї було 42 °C втрати тепла в системі передачі тепла складають 4% тобто приблизно 28 Вт/м² тепла. Впродовж дня сонячна активність складала в середньому 400 Вт/м². В результаті, при даних характеристиках, ккд спостерігається у межах від 0,72 до 0,65 в проміжках часу від 13⁰⁰-16⁰⁰, звідси при високій поглинальній здатності колектору. Але добий ккд, обчислений по формулі (10) дорівнює 0,68. Отже, результати розрахунків майже співпадають з експериментальними та паспортними даними колектора.

Висновки: проведений розрахунок дозволяє змодельовати реальний процес тривалістю декілька годин. Більшість задач моделювання процесів в сонячних установках досить не прості. При цьому, як правило, розглядаються досить не малі проміжки часу. Так теплові акумулятори повинні

задовольняти низку вимог: видавати воду при незмінній температурі, мати високий коефіцієнт корисної дії, простоту і надійність експлуатації, довговічність і дешевизну. Задовольнити всі ці вимоги одночасно практично не вдається.

Список літератури

1. Миронов О.С., Брижа М.Р., Золотовська О.В. Теплотехніка: основи термодинаміки, теорія теплообміну, використання тепла в сільському господарстві. – Дніпропетровськ, ТОВ «ЕНЕМ», 2011. – 424 с.
2. Сонячна енергетика – один з перспективних напрямів розвитку відновлювальної енергетики в Україні.
1. http://www.kmu.gov.ua/control/publish/article?art_id=248970577
3. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. Пер. с англ. под ред. д.т.н. В.М.Бродянского. – М.: Мир, 1987. – 272 с.
4. Золотовська О.В. Випробування вакуумної трубки сонячного колектора. / Золотовська О.В., Пивовар В.І. // Міжнародна наукова інтернет-конференція. – 2019. – Вип. 43, частина 2. – С.55-57.

Мамедова Ф. М., Гасанов А.А.

*Азербайджанский Государственный Университет
Нефти и Промышленности*

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СБРОСНЫХ РЕГЕНЕРАЦИОННЫХ ВОД ОТ ГИПСА

Аннотация. Приведены результаты исследований по кристаллизации гипса из отработанных регенерационных растворов Na и Mg-Na-катионирования. Изучались влияние основных факторов на кинетику кристаллизации гипса. Для определения зависимости степени очистки рассола от степени концентрирования солей, времени перемешивания, времени отстоя и количества наночастиц с применением математического планирования эксперимента. Получено уравнение регрессии позволяющее определить оптимальные условия очистки остаточных рассолов от гипса.

Ключевые слова: отработанный регенерационный раствор, степень концентрирования солей, эффективность перемешивания, кристаллизация гипса, математическое планирование эксперимента.

Одним из наиболее экономичных и эффективных методов умягчения морской воды являются методы Na- и Mg-Na катионирования.

Морская и минерализованная вода умягченная Na-катионированием, используется для питания испарителей и парогенераторов барабанного типа,