

Веретельник Т.И., к.т.н., доц., Соломаха М.В.

Черкасский государственный технологический университет, г.Черкассы, Украина

УСТОЙЧИВОСТЬ СОСТОЯНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сегодня существуют два подхода анализа устойчивости состояний термодинамических систем [1, 2]:

1. Классическая теория Гиббса, описывающая устойчивость равновесных систем.
2. Теория устойчивости стационарных состояний неравновесных систем, основанная на анализе скорости возникновения энтропии, обусловленной флуктуацией.

В настоящей работе проведен анализ устойчивости стационарного состояния термодинамической системы на основе скорости возникновения энтропии, обусловленной флуктуацией температуры.

Пусть при постоянном объеме флуктуация температуры δT вызывает появление теплоты δQ .

Тогда скорость возникновения энтропии можно записать:

$$\frac{d_i S}{dt} = \left(\frac{1}{T+\delta T} - \frac{1}{T} \right) \frac{\delta Q}{dt} = -\frac{\delta T}{T^2 + T\delta T} \cdot \frac{\delta Q}{dt} \quad (1)$$

Пренебрегая величиной $T\delta T$ по сравнению с T^2 и учитывая $\delta Q = C_V \delta T$, получим

$$\frac{d_i S}{dt} = \frac{C_V (\delta T)^2}{T^2 dt} \quad (2)$$

Отсюда

$$\Delta_i S = \int_0^{\delta T} d_i S = -\frac{C_V}{T^2} \int_0^{\delta T} \delta T d(\delta T) \quad (3)$$

или

$$\Delta_i S = \frac{C_V (\delta T)^2}{2T^2} \quad (4)$$

Окончательное условие устойчивости стационарных состояний неравновесных термодинамических систем

$$\Delta_i S = \frac{1}{2} \delta^2 S < 0$$

Это условие требует, что соблюдалось неравенство $C_V > 0$

Таким образом, состояние равновесие устойчиво к тепловым флуктуациями, потому что теплоемкость при постоянном объеме – величина положительная.

Литература

1. И. Пригожин, Д. Кондепуди. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур.-М.:Мир, 2002, - 461с.
2. Р.Хаазе. Термодинамика необратимых процессов.М.: Мир, 1967,- 543с.
3. Е.П. Агеев. Неравновесия термодинамика.-М.:Из-во МЦНМО, 2005.-160с.

Йовченко А.В., асист., Беспалько С.А., к.т.н., доц., Поляков С.П., д.т.н., проф.

Черкаський державний технологічний університет, м.Черкаси, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ЕМУЛЬСІЙ, ЩО ЗМІНЮЮТЬ СВІЙ АГРЕГАТНИЙ СТАН В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ ТА БУДІВНИЦТВІ

Анотація. Фазозмінні суспензії (ФЗС) мають величезний потенціал, як матеріал для акумулювання теплоти та холоду, так і теплоносії систем опалення та кондиціювання. ФЗС являє собою суміш двох незмішуваних речовин, одна з яких в області робочих температур проходить фазовий перехід: твердий стан – рідкий стан, та навпаки.

У випадку застосування ФЗС в якості теплоакumuлюючого матеріалу даний метод акумулювання буде мати наступні переваги у порівнянні з традиційними:

- покращені теплоакumuлюючі властивості за рахунок використання теплоти плавлення парафіну та високої теплоємності води;*
- невеликі розміри теплоакumuлюючого резервуару для зберігання суспензій у порівнянні з акумулюванням теплоти в резервуарі з водою;*
- невеликі теплові втрати внаслідок ізотермічності процесу акумулювання;*
- можливість транспортувати суспензію насосом;*
- можливість заміни, в деяких випадках, традиційних теплоносіїв на суспензії, що здатні зазнавати фазовий перехід.*

Однак, разом з цим слід відмітити, що процеси отримання, зберігання та застосування ФЗС є недостатньо вивченими. Дана робота присвячена аналізу можливих методів використання ФЗС в якості теплоакumuлюючого матеріалу.

Ключові слова: *фазозмінні емульсії, фазозмінний матеріал, акумулювання, теплоємність, поверхнево-активні речовини, теплові акумулятори.*

Вступ. Прикладом ФЗС є суміш води і парафіну. Однак, у зв'язку з тим, що процес гомогенізації відбувається коли дві речовини, вода і парафін, знаходяться в рідкому стані, то процес отримання суміші цих двох рідин є процесом емульгування. Після гомогенізації, внаслідок кристалізації глобул парафіну, емульсія перетворюється на суспензію або пасту. Властивості нового матеріалу, який утворився, визначаються кількома факторами, одними з яких є температура, концентрація води та парафіну, тип поверхнево-активних речовин (ПАР) та інші [1]. У випадку, коли утворюється суспензія, вода надає текучості даній речовині, в той час як мікрочастинки парафіну знаходяться в твердому стані. Тобто такі суспензії з легкістю можуть бути транспортовані насосом. У випадку паст, матеріал знаходиться у вигляді твердої пластичної маси, яка не може бути транспортована насосом, але може з легкістю приймати будь-які форми та заповнювати порожнини.

У випадку застосування ФЗС в якості теплоакumuлюючого матеріалу в системах сонячного теплопостачання зменшується об'єм матеріалу, який необхідний для акумулювання, у порівнянні з водою. При використанні пасти, як елемента шпаклівки внутрішніх стін, збільшується сумарна теплоємність приміщення, зменшується коливання температури поверхонь під час доби в літній період, у зв'язку з цим підвищується тепловий комфорт приміщення.

Однак, на даний час не досить достатньо вивчені властивості ФЗС. Тому, в першу чергу для подальшого застосування ФЗС у промисловості необхідно провести детальні дослідження для визначення необхідних властивостей ФЗС.

Основна частина.

У зв'язку зі зростаючою потребою населення в паливі, електричній та тепловій енергії, поряд із забезпеченням екологічної безпеки, виникає необхідність розвитку та впровадження відновлюваної енергетики, зокрема сонячного теплопостачання. Разом з цим, недоліком систем сонячного теплопостачання є невідповідність теплоти, яку генерує сонячний колектор до теплового навантаження, яке необхідно покрити за рахунок сонячної теплоти. Утилізація теплоти сонячних колекторів відбувається із застосуванням теплових акумуляторів. В нашій роботі пропонується використовувати ФЗС в якості теплоакumuлюючого матеріалу в системах сонячного теплопостачання.

Як було показано в нашій попередній роботі, в залежності від концентрації фазозмінного матеріалу (ФЗМ), температури емульгування, типу ПАР можна отримати пасти чи суспензії, що можуть мати широкий спектр застосування (рис. 1).

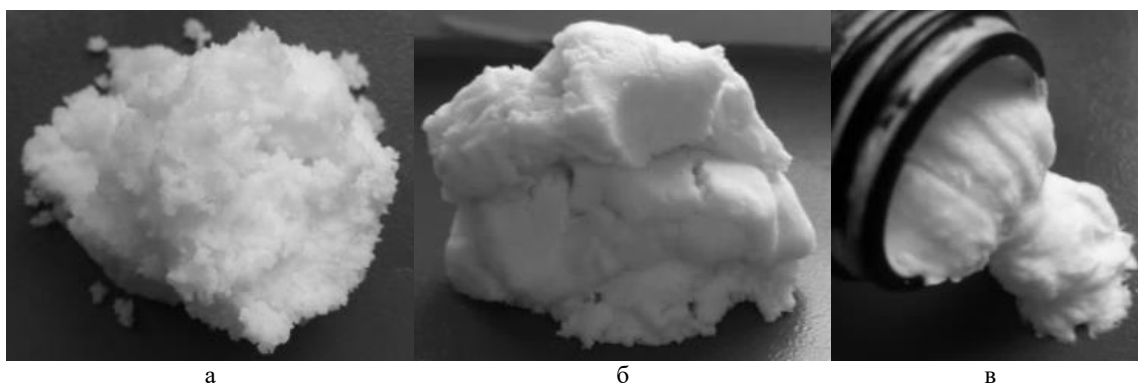


Рис. 1 – Фото суспензій «парафін у воді» після 3-х місяців зберігання [1]:
а) парафін 31,5%, вода 63,5%, ПАР Tween 20 5%;
б) парафін 45%, вода 45%, ПАР Tween 80 10%;
в) парафін 45%, вода 45% і 10% ПАР (Tween 80:Span 20, 1:1).

ФЗС мають позитивні якості, а саме висока теплоємність води та високе значення теплоти фазового переходу парафіну. Так, на рис. 2 наведений графік залежності питомої теплоти акумулювання від температури матеріалу.

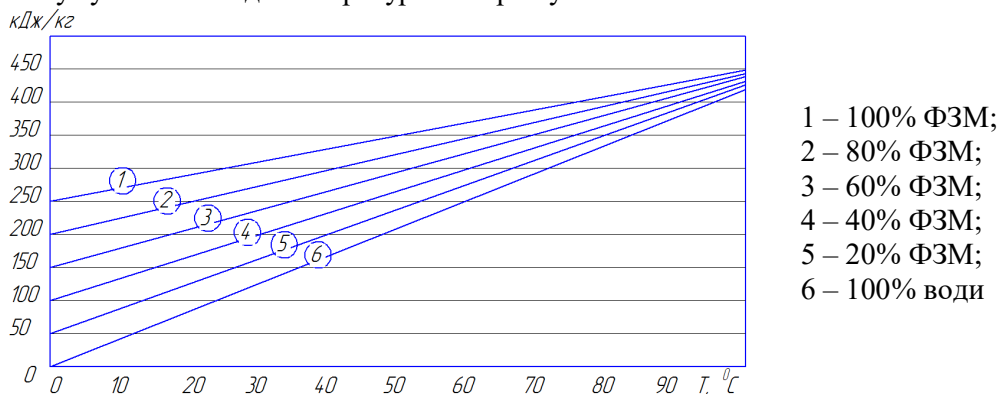


Рис. 2 - Залежність теплоти акумулювання від температури речовини при різних концентраціях ФЗМ.

Як видно з графіку, чиста вода може акумулювати меншу кількість теплоти, ніж суміш води та парафіну. Так, наприклад, 20% ФЗМ при 40 °C збільшує акумулюючу здатність на 20%. ФЗС повинні відповідати наступним вимогам [1]:

- матеріал повинен бути доступний в великій кількості і бути порівняно недорогим;
- фазовий перехід повинен відбуватися при необхідній для процесу температурі;
- незмінні властивості після великої кількості циклів фазових переходів, без погіршення ефекту виділення-поглинання прихованої теплоти;
- речовина має бути нетоксичною, незаймистою, негорючою;
- матеріали, які використовуються не повинні реагувати один з одним та з матеріалом резервуара, матеріалом теплообмінника.

Існують різні схеми застосування ФЗС в системах акумулювання теплоти відновлюваних джерел, зокрема теплоти сонця (рис. 3). Однак, на сьогоднішній день не визначено яка зі схем застосування ФЗС є оптимальною [2].

Приклади принципових схем акумулювання теплоти сонця з використанням ФЗС представлено на рис. 4. Основними елементами даних схем є сонячний колектор, циркуляційний насос, резервуар для зберігання теплової енергії та допоміжні прилади регулювання температури.

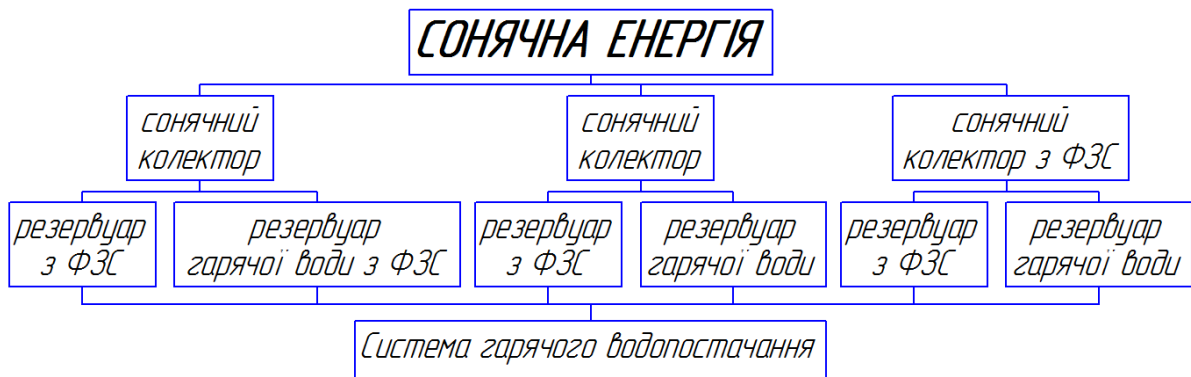


Рис. 3 - Схема застосувань ФЗС в системах нагрівання води сонячними колекторами:
 а) резервуар з ФЗС або резервуар для води, заповнений капсулами ФЗС; б) окремі резервуари для води та ФЗС; в) сонячний колектор з ФЗС.

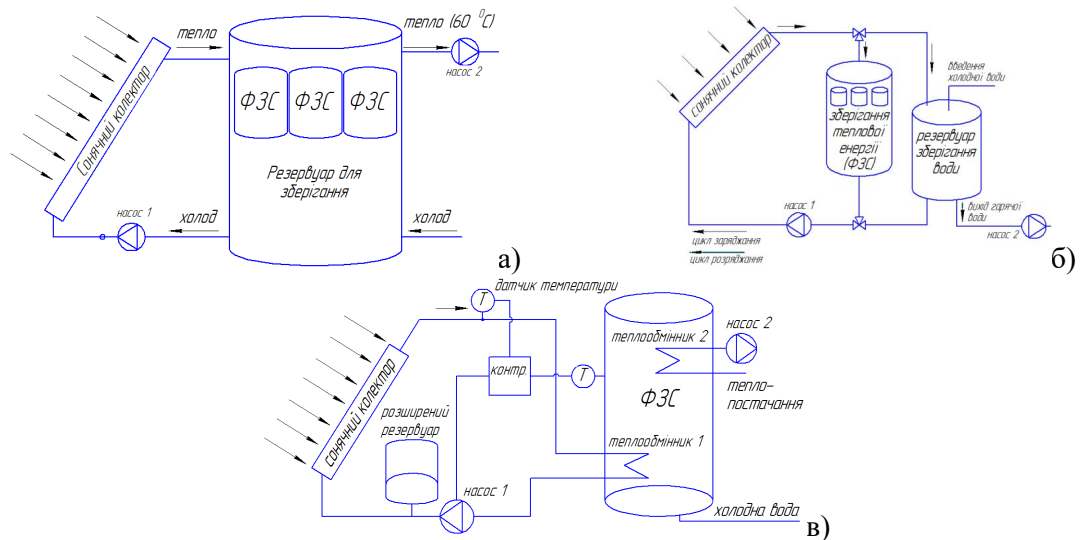


Рис. 4 - Принципові схеми застосування ФЗС, в'язкості теплоакуюлюючого матеріалу в системах сонячного теплопостачання: а) застосування ФЗС в резервуарі з водою; б) буферна схема застосування резервуара з ФЗС для заряджання резервуара з водою; в) застосування ФЗС для теплопостачання та постачання гарячої води.

В першій схемі (рис. 4, а) застосовуються капсули, наповнені ФЗС безпосередньо в резервуарі з водою (рис. 4, а). В цій схемі сонячний колектор нагріває теплоносії, в якості якого можуть бути використана вода. Після нагрівання теплоносії рухається до резервуару, в якому знаходяться капсули з ФЗС. Внаслідок такої циркуляції ФЗС нагрівається, переходить в рідкий стан і акумулює таким чином теплоту. В такій принциповій схемі акумулювання теплоти можна створити вертикальну температурну стратифікацію, тобто верхні капсули ФЗС будуть мати більшу температуру, ніж капсули, що знаходяться в нижній частині резервуара. Після закінчення процесу акумулювання насос 2 системи гарячого теплопостачання прокачує воду через резервуар з ФЗС і забирає акумульовану теплоту для потреб опалення та гарячого водопостачання.

ФЗС може застосовуватись окремо від води. Так, згідно рис. 4, б спочатку відбувається нагрівання від сонячного колектора води в резервуарі. При надлишку теплової енергії виконується нагрів ФЗС в резервуарі. В нічний період, коли неможливий нагрів від сонячних колекторів використовується резервуар з ФЗС для подальшого теплопостачання.

За третьою схемою можливе застосування теплообмінників в резервуарі з ФЗС (рис. 4, в). В даній схемі теплоносії, вода, або антифриз нагрівається від сонячного колектора та примусово циркулює по контуру насосом 1 та передає теплоту через теплообмінник до ФЗС. Нагріта ФЗС піднімається вгору, де другий теплообмінник відбирає теплоту для її передачі до системи опалення.

Таким чином, розробка нових технічних рішень в області теплових акумуляторів на основі фазового переходу різних речовин є актуальним завданням, рішення якого дозволить знизити енерговитрати за рахунок використання альтернативних джерел енергії, а також підвищити ефективність роботи енергетичного обладнання.

ФЗС застосовують у будівельній промисловості, наприклад, для отримання пастоподібної будівельної суміші на основі паста вода – парафін. Також, для одержання залізобетону з високими експлуатаційними властивостями для будівельних, морських і т.п. споруджень проводять хімізацію бетону комплексними добавками, у якості яких застосовують парафінову пасту. Присутність дозованої кількості парафіну сприяє гідрофобізації бетону. Наявність навколо мікрочастинок парафіну сольватних оболонок води дозволяє легко й рівномірно розподілити його в об'ємі бетонної суміші. При цьому паста є м'яким пластифікатором [3]. ФЗС застосовують для підвищення енергоефективності будівель, для підтримки теплового комфорту через зниження температурних перепадів, що знижує потребу в механічній вентиляції. ФЗС можуть бути інтегровані в матеріали будівлі, наприклад застосовуватись в стінах, підлозі, даху, підвісних стелях (рис. 5).

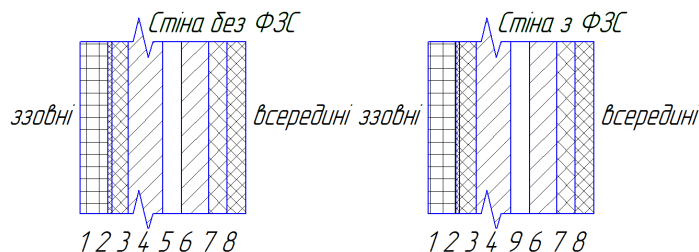


Рис. 5 - Ескіз стіни з ФЗС та без ФЗС: 1 – шпаклівка декоративна; 2 – клесва суміш; 3 – полістирол (мінеральна вата); 4, 6 - цегла; 5 - повітряний прошарок; 7 - штукатурка; 8 - шпаклівка; 9 - ФЗС.

ФЗС поглинаючи сонячне тепло в денний час і вивільняючи його протягом ночі призводить до нагрівання приміщень в темний період доби за відсутності сонця. Було порівняно систему опалення з ФЗС, що працює від сонячних колекторів та стінових панелей з ФЗС, встановлених на внутрішніх стінах, підлозі, даху та доведено, що економія електричної енергії другого вища, ніж першого [4].

Висновок. В результаті проведення аналізу можна зробити такі висновки:

1. Представлені потенційні схеми застосування ФЗС для акумуляування теплоти від сонячних колекторів.

2. При застосуванні ФЗС в теплових акумуляторах зменшується об'єм резервуара для накопичення, у порівнянні з водою.

3. Застосування ФЗС підвищує ефективність роботи системи сонячного теплопостачання.

Подальші дослідження зменшать вартість ФЗС за рахунок покращення процесів емульгування, інкапсуляції, збільшать стійкість ФЗС, що приведе до більшого їх використання в інших галузях промисловості, збільшить ринковий попит.

Список літератури

1. А.В. Йовченко, асист., С.А. Беспалько, канд. техн. наук, доц., М.П. Рога, асист., С.П. Поляков, проф., д-р техн. наук. Отримання теплоакуюлюючих суспензій, що змінюють свій агрегатний стан. Енергетичний

менеджмент: стан та перспективи розвитку – 2018. – с.24-26.

2. *Piotr Feliński, Robert Sekret. Effect of pcm application inside an evacuated tube collector on the thermal performance of a domestic hot water system. Energy and Buildings. – 2017. – 32p.*

3. *Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. Монография. – М.: Машиностроение -1, 2001. – 260 с.*

4. *Alibakhsh Kasaeian, Leyli bahrami, Fatholah Pourfayaz, Erfan Khodabandeh, Wei-Mon Yan. Experimental Studies on the Applications of PCMs and Nano-PCMs in Buildings: A Critical Review. – 2017. – 49p.*

Караченець Д.В., к.т.н., лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки

ПРОБЛЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ДІЮЧИХ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВОДІВТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Оптимізація режимів роботи діючих технологічних установок, комплексів чи, навіть, технологічних систем виглядає, в певному сенсі, складніше, ніж їх проектування, бо вимагає додатково врахування цілої низки факторів, що впливають на хід технологічних процесів в окремих установках, їх комплексах та системах.

Нижче ці проблеми та шляхи їх вирішення розглядаються на прикладі бувшої системи Придніпровських магістральних нафтопроводів (ПДМН), а у якості прикладу взято МН Кременчук-Снігурівка. Цей нафтопровід був пов'язаний з 5-ма нафтоперекачувальними станціями (НПС): двома головними (ГНПС) - "Кременчук" (початкова) і "Снігурівка" (кінцева) - та трьома проміжними (ПНПС) - "Пролетарською", "Широким" та "Андріївкою".

Нафта з резервуарів ГНПС "Кременчук" відкачувалась підпорною насосною (ПН), що мала два паралельно з'єднаних підпорних насосних агрегата. На МН було встановлено 4 основних (магістральних) насосних (ОН), кожна з яких мала по 4 послідовно з'єднаних магістральних насосних агрегата: всі з відцентровими насосами марки НМ 3600-230, що могли мати різні типи роторів та їх колеса могли бути обточені на різні зовнішні діаметри.

Це породжувалось достатньо широким діапазоном подач цього МН, тобто кількістю перекачуваної нафти за одиницю часу, та скупченістю цих подач навколо окремих їх значень, що виходили з календарних (річних, кварталних і помісячних) планів (згідно множини договорів на постачання нафти між власниками нафти і її покупцями-замовниками) та оперативних декадних і, навіть, подобових та позмінних (на 8 годин) планів транспортування нафти по системі ПДМН. Якщо забезпечення потрібних подач по МН входило до задач диспетчерської служби ПДМН, то вибір потрібних роторів відцентрових насосів та зовнішніх діаметрів їх колес - до служби головного механіка ПДМН. Цей вибір мав проводитись з урахуванням, з одного боку, планів по транспортуванню нафти мережею ПДМН, і, з другого боку, стану та характеристик всього устаткування МН, що визначало його техніко-економічні показники: в першу чергу, подачу, витрати електроенергії на транспортування нафти та вартість цих витрат.

Для насосів (і підпорних і основних) при створенні комплексу програм моделювання і оптимізації режимів МН мережі ПДМН враховувалися такі характеристики: напірна, потужнісна, кавітаційна. Для основних (магістральних) насосів відслідковувалась і характеристика к.к.д. Вказані характеристики - це залежності основних показників насоса (створюваного ним напору, потрібної потужності, потрібного кавітаційного запасу та результуючого к.к.д.) від подачі нафти через нього та її фізичних властивостей (в першу чергу, густини і в'язкості).

Подача, яку створював МН, залежала не тільки від загального напору, який забезпечували включені в роботу насоси, але й від гідравлічних втрат напору на подолання тертя при русі нафти вздовж так званих лінійних ділянок трубопроводу від однієї НПС до іншої. Режим роботи МН регулювався шляхом дроселювання напору на кожній ОН для запобігання порушень по обмеженням, що накладались на тиски на їх