

**Міністерство освіти і науки України**



Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра  
прикладної гідроаеромеханіки  
та механотроніки



# ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА В ІНЖЕНЕРНІЙ ПРАКТИЦІ МАТЕРІАЛИ

XXIII МІЖНАРОДНОЇ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

*Присвяченої 120-річчю  
КПІ ім. Ігоря Сікорського,  
ММІ та кафедри прикладної  
гідроаеромеханіки та  
механотроніки*

м. Київ, Україна

**19-22 червня 2018 року**



**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Механіко-машинобудівний інститут**  
**Концерн «NICMAS»**  
**ЗАТ «Гідросила ГРУП»**  
**ТОВ «СІГМА ІНЖИНІРИНГ»**  
**ТОВ Гідравлік Лайн**  
**ТОВ ГАНЗА-ФЛЕКС**  
**ТОВ Гідропрес Силова гідравліка**  
**Київ Смарт Сіті**

**МАТЕРІАЛИ**  
**XXIII МІЖНАРОДНОЇ**  
**НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**  
**«ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА**  
**В ІНЖЕНЕРНІЙ**  
**ПРАКТИЦІ»**

**19–22 червня 2018 року**  
**м. Київ, Україна**

**МАТЕРИАЛЫ**  
**XXIII МЕЖДУНАРОДНОЙ**  
**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ**  
**КОНФЕРЕНЦИИ**

**«ГИДРОАЭРОМЕХАНИКА В**  
**ИНЖЕНЕРНОЙ ПРАКТИКЕ»**

**19–22 июня 2018 года**  
**г. Киев, Украина**

**MATERIALS**  
**XXIII INTERNATIONAL**  
**SCIENTIFIC AND**  
**TECHNICAL CONFERENCE**

**«FLUID MECHANICS IN**  
**ENGINEERING PRACTICE»**

**June 19–22, 2018**  
**Kyev, Ukraine**

## МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ

Україна *Ільченко М. Ю.*, академік НАН України, КПІ ім. Ігоря Сікорського  
*Бобир М. І.*, д-р техн. наук, проф., член-кор. НАН України, КПІ ім. Ігоря Сікорського  
*Грінченко В. Т.*, академік НАНУ, Інститут Гідромеханіки НАН України  
*Тищенко О. М.*, канд. техн. наук, проф., Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України  
*Акіньшин В. Д.*, д-р фіз.-мат. наук, проф., Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України  
*Дашутін Г. П.*, голова наглядової ради концерну «NICMAS»,  
*Штутман П. Л.*, голова наглядової ради «ГІДРОСИЛА»  
*Тітов Ю. О.*, генеральний директор ЗАТ «Гідросила ГРУП»  
*Артамонов А. В.*, директор ТОВ «СігмаІнжиніринг»  
*Бабич С. Е.*, заст. директора ТОВ «СігмаІнжиніринг»  
*Назаренко І. І.*, д-р техн. наук, проф., КНУБА  
*Дур'є З. Я.*, д-р техн. наук, проф., НТУ «ХП»  
*Іскович-Лотоцький Р. Д.*, д-р техн. наук, проф., ВНТУ  
*Саленко О. Ф.*, д-р техн. наук, Кременчуцький державний університет ім. М. Остроградського  
*Вітенько Т. М.*, д-р техн. наук, проф., Тернопільський НТУ ім. І. Пулюя  
*Тімчишин-Валевський А.*, проєктний координатор Київ Smart Сіті  
*Черкашенко М. В.*, д-р техн. наук, НТУ «ХП»  
*Гусак О. Г.*, Сумський державний університет  
Грузія *Турманідзе Р. С.*, д-р техн. наук, проф., Тбілісі, Грузинський технічний університет  
Лівія *Хогас Башир*, д-р філос. наук, університет Аннаба  
Білорусь *Сафонов А. І.*, д-р техн. наук, проф. Білоруський НТУ, Мінськ  
Болгарія *Неделчева Пенка*, д-р техн. наук, проф., Габрово  
Польща *Стричек Я.*, д-р техн. наук, проф., Вроцлавська Політехніка, Вроцлав

## ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

*Голова* Яхно О. М.

*Заступники голови:*

Лугоський О. Ф., Губарев О. П., Узунов О. В., Ковальов В. А.,  
Струтинський В. Б., Панченко А. І., Андренко П. М., Веретільник Т. І., Іванов М. І.,  
Криль С. І., Турик В. М., Ігнатів Р. М., Стась С. В.

*Учений секретар* Семінська Н. В.

*Технічні секретарі:* Тимошенко Л. І., Гринько І. А., Беліков К. О., Коваль О. Д.,  
Ночниченко І. В., Костюк Д. В., Зілінський А. І., Галецький О. С., Козерацький М. С.,  
Нацьола Б. В., Муращенко А. М.

*Підготовка до друку та верстка матеріалів конференції:* канд. техн. наук Семінська Н. В.,  
Костюк Д. В., Муращенко А. М.

Адреса оргкомітету Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Механіко-машинобудівний інститут, кім. 299/1, просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна Тел. +38(044) 406-86-44 E-mail: [seminska@ukr.net](mailto:seminska@ukr.net)  
Сайт <http://nmti.kpi.ua>

*Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції*

Секція 1  
«ТЕХНІЧНА ГІДРОМЕХАНІКА»

Серебряков В. В. Возможности усовершенствования модели глассирования по поверхности каверны близкой к осесимметричной.....	6
Разави С.Ф., Яхно О.М., Коваль А.Д. Особенности гидродинамики потока в конических зазорах при вращении одного из конусов.....	10
Ковалев В.А. Круговые моменты воздействия жидкости на стенки тороидального резервуара.....	13
Стась С. В. Особливості витікання засобів гасіння через рукавні розгалуження.....	17
Івіцький І.І., Сівецький В.І., Колосов О.Є., Сокольський О.І. Введення інтелектуальних датчиків у течію розплаву полімерного матеріалу.....	19
Дуговський О. Ф., Зілінський А.І., Боровков О. В. Ультразвуковий кавітаційний фільтр Чернецкая-Белецкая Н.Б., Роговой А.С., Баранов И.О. Моделирование пространственного трехмерного течения водоугольного топлива на основе модели турбулентности SST.....	24
Бадах В.М., Тарасенко Т.В., Браженко В.М. Верифікація та валідація розрахункової моделі течії рідини в повнопотоковому гідродинамічному фільтрі.....	26
Мачуга О.С., Яхно О.М. Енергетичний підхід до розв'язування проблем неідеалізованої механічної взаємодії мобільних машин із оточуючим середовищем.....	28
Коробко І.В., Драчук О.О. Дослідження приладового комплексу реєстрації об'єму та об'ємної витрати газу.....	32
Лукуьянов П.В., Мешков И.В. Экспериментальное исследование обратного каскада энергии спиральной турбулентности на примере закрученного течения несжимаемой жидкости в трубе постоянного сечения.....	36
Кузьменко К.М., Юрченко Н.Ф., Виноградський П.М., Парамонов Ю.А. Експериментальні дослідження особливостей імпульсного надзвукового ежектора.....	39
Сохацький А.В. Числовий розрахунок турбулентної течії навколо транспортного апарата поблизу шляхової структури.....	42
Ковальов В.А., Клименко І.В. Особливості аеродинаміки очищення запиленого повітря у виробничих приміщеннях за допомогою циклонів.....	46
Носко С.В. Реодинамика процессов смешения технологических компонентов в формирующей головке.....	49
Турик В.М., Воскобійник В.А., Воскобійник А.В. Вихрова течія усередині поперечної обтічної траншеї.....	52
Весков Е.В. Численное моделирование ограниченной погруженной струи.....	55
Яхно О.М., Гнатів Р.М., Щербата Н.В., Гнатів І.Р. Дослідження розподілу локальних швидкостей за розгінного руху реальної рідини зі стану спокою.....	56
Косторной С. Д., Косторной А. С., Хатушцев А. Ю., Бондарев А. О. Моделирование вихревого течения в центробежном насосе методом граничных элементов.....	58
Колосова О. П., Ванін В. В., Колосов О. Є. Моделювання об'єктів одержання полімерних композиційних матеріалів із використанням ультразвуку.....	62
Гляч П.Ю. Перевірка кавітаційно-ерозійних характеристик шнековидцентрового ступеня з надроторними елементами методом з використанням легкокоруйнівних покриттів.....	65
Городиський Н.І., Віпенько Т.М. Кавітаційна обробка води та її використання в технологіях екстрагування.....	68
Макаренко Р.О., Тарасенко Т.В. Експериментальні дослідження витікання рідини через дросельні пристрої при високонапірному дроселюванні.....	70
Почніченко І. В. Яхно О. М. До питання застосування явища переносу при вивченні та аналізі технічних систем.....	73
Чернюк В. В., Іванів В. В. Вплив транзитного потоку у напірному трубопроводі-збирачі на нерівномірність шляхового притоку води до нього.....	76

Веретельняк Т.И., Соломаха Н.В. Термодинамическое равновесие в бинарных газовых смесях при произвольных числах Кнудсена	80
Хорошуля М. В., Блощиня М.С., Головки Л.Ф. Струминні течії електроліту при електролітно-плазмовому подіруванні силової оптики лазерних систем	82
Мачуга О.С., Яхно О.М. Енергетичний підхід у дослідженні поведінки гідромеханічної системи «рйчкової потік – гідротехнічна споруда – водосховище»	85
Луговський О. Ф., Ночвіченко І. В., Яхно О. М., Костюк Д. В. Явище гідроломінісценції як індикатор гідродинамічної кавітації	88
Яхно О.М., Д'яченко І.О. Дослідження впливу магнітного поля на гальмування потоку в системах гідравлічних демпферів	90
Турик В.М., Кочін В.А., Кочіня М.В. Ефективний спосіб підвищення економічних та екологічних показників вихрових апаратів	93
Берник І.М., Теоретичні аспекти моделювання та визначення режимів і параметрів акустичної обробки технологічних середовищ	96
Веретельняк Т.И., Соломаха М.В. Устойчивость состояний термодинамических систем	99
Йовченко А.В., Беспалько С.А., Поляков С.П. Застосування емульсій, що змінюють свій агрегатний стан В теплоенергетиці та будівництві	99
Карачевець Д.В. Проблеми оптимізації режимів діючих магістральних нафтопроводів та шляхи їх вирішення	104
Семінська Н.В. Дослідження параметрів насадок, що формують струмінь високого тиску	106

## СЕКЦІЯ 2

### «ГІДРОПНЕВМОПРИВОД ТА СИСТЕМИ МЕХАТРОНІКИ»

Мовчанюк А.В., Луговской А.Ф., Сушко І.А. Конечное-элементное моделирование работы ультразвукового жидкостного трансформатора давления	108
Іванов М.І., Ковальова І.М. Дослідження роботи системи живлення гідростатичних підшипників регульованого аксіального роторнопоршневого насоса	110
Муращенко А.М., Яхно О.М., Кіца А.Р., Тиживов О.В. Врахування зміни властивостей рідини при гідравлічному розрахунку	112
Іванов М.І., Закревський В.П. Система керування подачею регульованого аксіального роторнопоршневого насоса типу рвс 1.85	114
Губарев О.П., Гавпанцурова О.С. Врахування кількості і результатів дій в алгоритмі керування мехатронної системи	116
Узунов О.В. Особливості побудови математичних моделей на основі інформаційно-енергетичних потоків	119
Шоферівський Д.С., Коваль О.Д., Лебедев І.І. Напівавтоматичний пенетрометр с пневматичним приводом	121
Цибрій Ю.О., Грабовський Г.Г. Ефективність мехатронної системи керування виплавою титану	124
Губарев О.П., Окренець І.М. Гідропривід стабілізації горизонтального положення мобільної машини	126
Гавпанцурова О.С., Губарев О.П., Осипенко Р.О. Дидактичний пневмоелектричний стенд з кроковим електродвигуном	128
Черкашенко М.В., Погегенко О.В., Шудрик А.Л., Дорошенко А.В. К проблеме регулирования гидротурбин	130
Барялюк Є.І. Особливості зміни технічного стану в вузлах малогабаритних пневматичних клапанів з двопозиційним електромагнітним приводом	131
Петров О.В., Трофимчук М.В. Підвищення технічного рівня сучасних машин маніпуляторного типу з гідроприводом	133
Голонко В.М., Коханевич В.П., Шихайлов М.О., Перькова І.Ю. Вітроелектрична павелна установка з електродинамічним приводом	134

Космина А.Ю., Космина С.Ю., Беліков К.О. Тестування моделі пружно-гідравлічного дозатора рідини.....	137
Космина А.Ю., Космина С.Ю., Гавланцурова О.С., Губарев О.Н. Система керування пружно - гідравлічним дозуванням рідини.....	139
Masharipova S.E., Butko V.S. Static characteristics of pressure regulating valve from hydrodynamic point of view.....	143
Яцина М.М., Саленко О.Ф. Керування потоками енергії в процесі гальмування та розгону транспортного засобу.....	144
Володін С.О., Мирончук В.Г. Синтез промислових регулюючих клапанів на станції дефекосатурації.....	148
Поліщук Л. К., Кравчук В. О. Застосування засобів гідроавтоматики для зниження динамічних зусиль в механічній системі конвеєра.....	151
Івавов М.І., Шаргородський С.А., Руткевич В.С. Експериментальний стенд для дослідження адаптивного гідравлічного привода блочно-порційного відокремлювача консервованого корму.....	154
Піонткевич О.В., Козлов Л.Г., Ковальчук В.А. Дослідження сервозолотника врівноважувального клапана.....	157
Лурье З.Я., Соловьев В.М., Гасюк А.И., Цента Е.Н. Об одной обратной задаче многокритериальной идентификации в области проектирования объемных гидромашин.....	159
Володін О.С., Кривошляк-Володіна Л.О., Гавава О.М., Гнатів Т.Т. Інтегровані рішення функціональних мехатронних модулів в задачах синтезу пакувальних машин.....	164
Ащепков С. А., Ащепкова Н.С. Імітаційне моделювання маніпулятора.....	167
Благодарний М.П. Моделювання функціонування мехатронних систем.....	169

#### СЕКЦІЯ 3

##### «ГІДРАВЛІЧНІ І ПНЕВМАТИЧНІ МАШИНИ, ГІДРОПЕРЕДАЧІ»

Вяцєв С.М., Бондар А.В., Мірошніченко Д.В. Дослідження робочого процесу вихрової розширювальної машини з бічним каналом.....	173
Роговий А.С. Узагальнена характеристика вихорокамерних нагнітачів.....	175
Делов О.П., Назаренко І.І. Дослідження форм коливань формуючої поверхні вібраційної установки для реалізації полічастотного режиму ущільнення.....	178
Поліщук Л. К., Міськов В. П., Кравчук В. О. Модернізація обладнання для переробки деревинних відходів.....	182
Веселовська Н.Р., Яремчук О.А. Принципи побудови системи діагностування гідроімпульсних приводів.....	184
Костюк Д.В., Колесніков Д. В., Стась С. В., Яхно О.М. Особливості визначення розмірів кавітаційних зон в замкненому об'ємі шестеренного насоса.....	186
Ковалевко С.М., Саленко О.Ф., Мельничук С.П. До питання забезпечення якісного виготовлення зразків із карбоновмісних матеріалів засобами струминно-абразивного різання.....	188
Вяцєв С.М., Мірошніченко Д.В., Бондар А.В. Виготовлення стенду дослідження турбогенераторів малої потужності для утилізації енергії стиснутих газів.....	191
Струтинський С.В. Обґрунтування розроблення безконтактних магнітних опор із феромагнітною рідиною.....	194
Кокошенко А.П., Божко Р.И. Области применения нагнетательных эрлифтных установок с радиальными нагнетателями.....	197
Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А. Обґрунтування кінематичних схем розподільних систем планетарних гідромоторів.....	201
Назаренко І.І., Делембовський М.М. Дослідження показників надійності вібраційних систем.....	203

В роботі розроблена загальна класифікація технологічних середовищ на основі поєднання всіх складових їхніх реологічних властивостей із енергетичними та акустичними параметрами. Виконаними дослідженнями доведено, що в практичних розрахунках технологічне середовище має базуватися на континуальній моделі із обов'язковим врахуванням дисипативної складової за певним законом її зміни. Для оцінки ефективності застосування того чи іншого режиму ультразвукової кавітації розглянуто існуючі підходи передачі енергії від акустичного апарату до технологічного середовища. Реалізація лінійного режиму потребує забезпечення умови, за якою бічні розміри поверхні акустичного апарату у напрямку передачі енергії по координаті  $x$  набагато перевищують довжину ( $\lambda$ ) звукової хвилі. За другої умови має забезпечуватися збереження судильності руху в зоні контакту апарату і середовища. Дисипативні властивості враховуються, коефіцієнтом розсіювання енергії, який описує передачу енергії від звукової хвилі до середовища переважно через процеси поглинання та розсіювання. Поглинання перетворює акустичну енергію в тепло, переважно через в'язке тертя. Відомо принципово інший підхід до інтенсифікації тепломасообмінних і гідромеханічних процесів в дисперсних середовищах, який названий принципом дискретно-імпульсного введення енергії [6]. Сутність його полягає у швидкій зміні зовнішнього тиску. Разом з тим, очевидно для забезпечення ефективного протікання кавітаційного процесу необхідно врахувати швидкість наростання імпульсу, тобто час імпульсу має бути узгодженим з часом захоплення бульбашок.

В роботі запропоновано критерій оцінки ефективності енергетичних дій технологічних середовищ, головним складовим якого є швидкість зміни напруження в середовищі за певний період часу [7]. Саме ці параметри визначають створення кавітаційним апаратом в середовищі змінний у часі напружений стан максимального об'єму кавітуючих бульбашок. Цей максимальний стан середовища має бути досягнутий на етапі розвинутої кавітації, як визначальний всього технологічного процесу. Отриманими результатами обґрунтовано методи та алгоритми визначення раціональних параметрів та режимів процесів акустичної обробки дисперсних технологічних середовищ.

#### Література

1. Шестаков, С. Д. (2010) Многопузырьковая акустическая кавитация: математическая модель физическое подобие // Электронный журнал "Техническая акустика", №14, 16 с.
2. Du, T. A., Huang, Ch. and Wang, Y. (2016) "Numerical Model for Evolution of Internal Structure of Cavitational". ISROMAC-2016 (International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery), April, Hawaii, Honolulu, pp. 10-15.
3. Ишкүлова, Ю. А., Абрамова, О. А., Гумеров, Н. А., Ахатова, И.Ш. (2014) Моделирование динамики пузырьков в трехмерных потенциальных течениях на гетерогенных вычислительных системах быстрого метода мультиполей и методом граничных элементов / Вычислительные методы и программирование, 15, С. 239-257.
4. Розина, Е. Ю. (2005) Заужающий метод определения скорости звука в кавитирующей жидкости // Акустичний вісник, Том 8, №4, С. 51-58
5. Берник, І.М. (2018) Дослідження в'язкості дисперсних середовищ в умовах їхньої інтенсивної обробки // Техніка, енергетика, транспорт АПК, 1(100), С. 62-67.
6. Долинский, А.А., Иванцукый, Г.К. (2008) Тепломассообмен и гидродинамика в зарождающихся дисперсных средах. Теплофизические основы дискретно-импульсного ввода энергии, Киев: Наукова думка, 381 с.
7. Beryuk, I. (2017) Theoretical aspects of the aspects of the formation and the development of cavitation processes in a technological environment // MOTROL. Commission of Motorization and Energetic in Agriculture, Vol. 19, № 3, P. 3-12.

УДК 536.75.533

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

Черкасский государственный технологический университет, г.Черкасы, 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  $\delta T$  вызывает появление теплоты  $\delta Q$ .

Тогда скорость возникновения энтропии можно записать:

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

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. Конденуди. 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.-Изд-во МЦНМО, 2005.-160с.

УДК 532.613.2

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

Черкасский державний технологічний університет, м.Черкаси, Україна

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

**Анотація.** Фазозміни суспензії (ФЗС) мають величезний потенціал, як матеріал для акумулювання енергії та холоду, так і теплоносії систем опалення та кондиціонування. ФЗС являє собою суміш двох немішуваних речовин, одна з яких в області робочих температур проходить фазовий перехід: твердий ліній 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 теплої плавлення парафіну та високої теплоємності води;
- невеликі розміри теплоакumuлюючого резервуару для зберігання суспензій у порівнянні з акумулюванням теплої 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 тим слід відзначити, що процеси оптимізації, зберігання та застосування ФЗС в 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 теплої, яку генерує сонячний колектор до теплового навантаження, які необхідно покрити за рахунок сонячної теплої. Утилізація теплої 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).



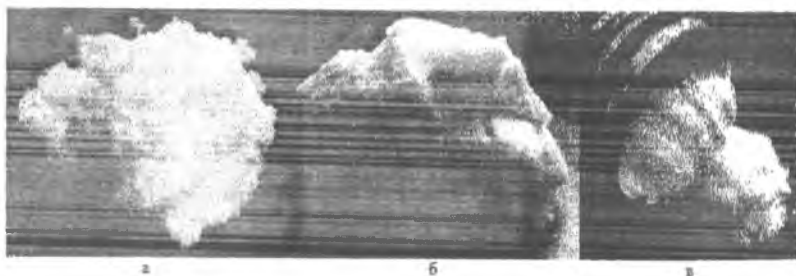


Рис. 1 – Фото суспензій «парафін у воді» після 3-х місяців зберігання [1]:  
 а) парафін 31,5%, вода 63,5%, ПАР Tween 20 5%;  
 б) парафін 45%, вода 45%, ПАР Tween 80 10%;  
 в) парафін 45%, вода 45% і 10% ПАР (Tween 80:Span 20, 1:1).

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

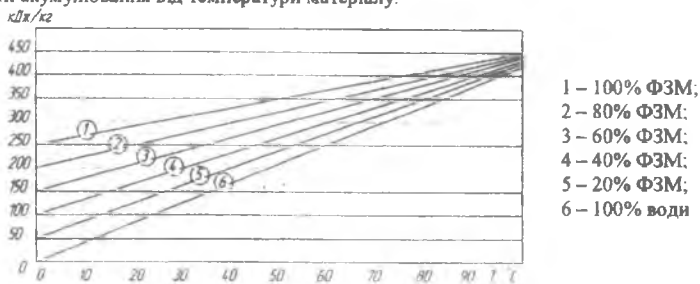


Рис. 2 - Залежність теплоти акумулювання від температури речовини при різних концентраціях ФЗМ.

Як видно з графіку, чиста вода може акумулювати меншу кількість теплоти, ніж суміш води та парафіну. Так, наприклад, 20% ФЗМ при 40 °С 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.

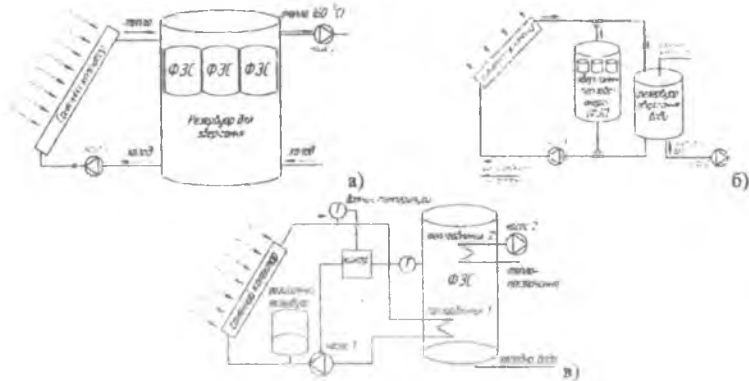


Рис. 4 - Принципові схеми застосування ФЗС, в'язкості теплоасумуючого матеріалу в системах сонячного тепlopостачання: а) застосування ФЗС в резервуарі з водою; б) буферна схема застосування резервуару з ФЗС для заряджання резервуару з водою; в) застосування ФЗС для тепlopостачання та постачання гарячої 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 тепло. В такій принциповій схемі акумулювання теплоти можна створити вертикальну температуру стратифікацію, тобто верхні капсули ФЗС будуть мати більшу температуру, ніж капсули, що знаходяться в нижній частині резервуару. Після закінчення процесу акумулювання насос 2 системи гарячого тепlopостачання 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 тепlopостачання.

За третьою схемою можливе застосування теплообмінників в резервуарі з ФЗС (рис. 4, в). В даній схемі теплоносії, вода, або антифриз нагрівається від сонячною колектору 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 пасту 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 гидрофобізації 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 знизжує потребу в механічній вентиляції. ФЗС можуть бути інтегровані в матеріали будівлі, наприклад застосовуватись в стінах, підлозі, даху, підвісних стелях (рис 5).

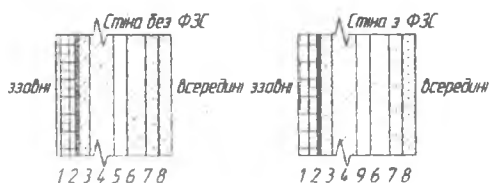


Рис. 5 - Ескіз стіни з ФЗС та без ФЗС: 1 – шпаклівка декоративна; 2 – клеєва суміш; 3 – полістирол (мінеральна вата); 4, 6 - цегла; 5 - повітряний прошарок; 7 - штукатурка; 8 - шпаклівка; 9 - ФЗС.

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, дащі 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. Роза, асист., С.П. Поляков, проф., д-р техн. наук. Отричання теплоаккумуляюющих суспензий, що змінюють свій агрегатний стан. Енергетичний

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

2. *Piotr Felinski, 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. – 32р.*

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

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

**Карачевець 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 буйшої системи Придніпровських магістральних нафтопроводів (ПДМН), а у якості прикладу взято МН Кременчук-Снігурівка. Цей нафтопровід був пов'язаний з 5-ми 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 послдовно 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 породжувалося 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, квартальних 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 враховувались такі характеристики: напірна, потужнісна, кавітаційна. Для основних (магістральних) насосів відслідковувалась і характеристика к.к.д. Вказані характеристики - це залежності основних показників насосів (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 при подоланні 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

вході та виході (на вході в лінійний трубопровід), з використанням систем автоматичного регулювання (САР).

В доповіді розглядаються проблеми, пов'язані з розрахунками так званих фіксованих, оптимальних та раціональних режимів роботи МН. Наводяться розроблені математичні моделі основного устаткування МН (напірних характеристик відцентрових насосів з урахуванням впливу на них обточки колес роторів та гідравлічних характеристик магістральних трубопроводів з урахуванням дії антитурбулентних присадок).

Дано опис структури розробленого комплексу моделювання і оптимізації режимів роботи МН.

В заключній частині доповіді буде наведено метод обрахунку напірних характеристик відцентрових насосів, який було використано при створенні вказаного вище комплексу програм. Обрахунок складався з трьох етапів.

На першому етапі, для насосів певного типу з певним типом колеса ротора з використанням їх паспортної характеристики знаходять опорну характеристику гідравлічних ударних вихрових витрат напору в проточній частині насоса, що приймається однаковою для всіх таких насосів, у послідовності з чотирьох кроків.

На другому етапі (крок 5) для реального насоса певного типу з певним типом ротора, якщо параметри щільного ущільнення насоса і геометричні параметри колеса співпадають з відповідними параметрами паспортних насоса і колеса, проводять уточнення на підставі фактичних даних про роботу реального насоса його паспортної характеристики з метою отримання робочої характеристики гідравлічних витрат напору по довжині і в дифузори.

При необхідності, таке уточнення проводять з урахуванням фактичних параметрів щільного ущільнення реального насоса.

На третьому етапі проводять обчислення напірної характеристики відцентрового насоса при обточці його колеса по зовнішньому діаметру в послідовності з трьох кроків, що будуть детально розглянуті.

Хотілось би тут згадати про те, що не було зроблено при створенні вказаного комплексу програм.

По-перше, не була реалізована програма розрахунку оптимальних оперативних щогодинних режимів роботи всієї системи ПДМН у сукупності з урахуванням щогодинних графіків транспортування нафти, поточних запасів нафти та вільної ємності в усіх резервуарних парках ПДМН, щогодинних тарифів по електроенергії, графіків можливих поточних ремонтів, в першу чергу, на трубопроводах лінійних ділянок МН з обмеженнями по тиску в місцях ремонту.

По-друге, розробниками пропонувалась керівництву ПДМН розробка програми по раціональному вибору типів роторів та розрахунку діаметрів їх колес.

Але у ПДМН почали виникати фінансові труднощі у зв'язку із зменшенням об'ємів транспортування російської експортної нафти, бо Росія намагалась вивести свою експортну нафту на свої термінали на Чорному та Балтійському морях.

#### Література

- 1 Л.Г.Колпаков "Центробежные насосы магистральных нефтепроводов" М. "Недра" 1985.184 с.
- 2 М.Д.Серезюк, Й.В.Якимя, В.П.Лисафин "Трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов". Иванов-Франкфуртск. 2001. 518 с.