

**Міністерство освіти і науки України  
Одеська національна академія харчових технологій  
Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В.С. Мартиновського ОНАХТ**



**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ЗА МАТЕРІАЛАМИ  
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦІЇ**

**МОЛОДИХ ВЧЕНИХ, АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ**

**«СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ  
І ТЕХНОЛОГІЇ»**

***14 -15 травня 2021 року***



Одеса - 2021

УДК 621.56/59(03)  
ББК 31.3  
К-14

**Збірник наукових праць** підготовлений під редакцією  
доктора технічних наук, професора Хмельнюка М.Г  
Науковий секретар - к.т.н.доц. Жихарєва Н.В.

*За достовірність інформації відповідає автор публікації*

**Збірник** за матеріалами Всеукраїнської науковотехнічної онлайн-конференції молодих учених та студентів «**Стан, досягнення і перспективи холодильної техніки і технології**» 14-15 травня 2021 року. – Одеса : ТЕС, 2021 – 116 с.

До збірника включені матеріали сучасних наукових досліджень студентів, магістрів та аспірантів різних університетів і академій України.

Розглянуто наступні напрямки досліджень: холодильні установки; кондиціювання повітря, холодильні машини, теплообмінні апарати і процеси тепло масообміну; робочі речовини холодильних машин; Компресори та пневмоагрегати; енергетичні та екологічні проблеми холодильної техніки; холодильна технології; кріогенна техніка; інформаційні технології в холодильній техніці

©Одеська національна академія харчових технологій  
© Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В. С. Мартиновського

## НАУКОВИЙ КОМІТЕТ

**Голова - Єгоров Б.В.** - ректор Одеської національної академії харчових технологій, Заслужений діяч науки і техніки України, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, д-р техн. наук, професор.

**Поварова Н.М.** - к.т.н., доцент, проректор з наукової роботи Одеської національної академії харчових технологій;

**Косой Б.В.** – д.т.н., професор, директор навчально-наукового Інституту холоду, кріотехнологій та екоенергетики Одеської національної академії харчових технологій;

**Хмельнюк М.Г.** - зав. кафедрою холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАХТ, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

**Мілованов В.І.** - зав. кафедрою компресорів та пневмоагрегатів ОНАХТ, заслужений діяч науки і техніки України, д-р техн. наук, професор;

**Морозюк Л.І.** - д-р техн. наук, професор;

**Потапов В.О.** - Харківський державний університет харчування і торгівлі, д.т.н., професор;

**Радченко М.І.** - зав. кафедрою кондиціонування і рефрижерації НУК, академік Міжнародної академії холоду, д-р техн. наук, професор;

**Симоненко Ю.М.** - зав. кафедрою кріогенної техніки ОНАХТ, д-р техн. наук, професор

## Організаційний комітет:

**Голова** - проф. Хмельнюк М.Г.;

**Науковий секретар** - к.т.н. Жихарєва Н.В.

**Члени оргкомітету** - к.т.н. Зімін О.В., к.т.н. Когут В.О., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н. Желіба Ю.О., к.т.н. Трандафілов В.В., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н. Подмазко О.С., асист. Томчик О.М.

## Тематичні напрями:

- холодильні машини і установки
- теплообмінні апарати і процеси тепломасообміну
- робочі речовини холодильних машин
- системи кондиціонування повітря
- компресори та пневмоагрегати
- енергетичні та екологічні проблеми холодильної техніки
- холодильна технологія
- кріогенна техніка
- інформаційні технології в холодильній техніці

2. Степанов Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Санкт-Петербург: Издательство «АВОК Северо Запад», 2005. – 399 с.
3. Жихарева Н.В. Хмельнюк М.Г. Перепека В.И. Энергозбереження при експлуатації припливних систем вентиляції та кондиціонування повітря// Холодильна техніка і технологія 2016. – № 2 (151) – С.15–21.

*Науковий керівник: Жихарева Н.В., к.т.н., доцент кафедри холодильних установок і кондиціонування повітря ОНАПТ*

**УДК 621.22-225**

## **МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ І НАСЛІДКІВ ГІДРОДИНАМІЧНИХ УДАРІВ У РОЗІМКНУТИХ КОНТУРАХ З НАСОСАМИ**

*Пірко́вський Д.С. доктор філософії, ОНПУ, Алалі Мохаммадаспірант, ОНПУ, Рабіа-Альгербі.аспірант ОНПУ.*

Питанням підвищення надійності і модернізації насосів енергетичних систем присвячено багато досліджень. Однак, питання впливу тепло-гідродинамічної нестійкості на надійність насосних систем вивчені недостатньо. Явище тепло-гідродинамічної нестійкості (нестабільності) (ТГН) полягає у виникненні умов автоколивальних (самопідтримувальних) і / або аперіодичних (імпульсних) процесів зміни тепло-гідродинамічних параметрів (тиску, швидкості, парозмісту і т.п.) потоків в системах теплотехнічного обладнання (насоси, арматура, теплообмінники і т.п.) і трубопроводів теплових і ядерних енергоустановок. Виникнення умов тепло-гідродинамічної нестійкості (нестабільності) призводить до додаткових гідродинамічних навантажень на конструкції теплотехнічного обладнання і трубопроводів (гідродари), а також знижує надійність їх експлуатації в робочих, перехідних і аварійних режимах. У випадках умов критичних по надійності гідродарів (КГУ) відбувається відмова на виконання проектних функцій експлуатації та / або руйнування конструкцій теплотехнічного обладнання і трубопроводів (ТОІТ).

**Загальні положення методу моделювання умов виникнення критичних гідродарів**

1. Розглядається характерна для теплових і ядерних енергоустановок трубопровідна система теплотехнічного обладнання (рис. 1).

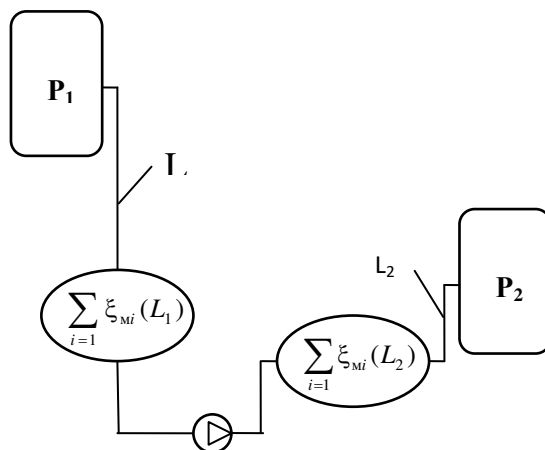


Рис. 1. Типова трубопровідна система теплотехнічного обладнання

Умовно трубопровідна магістраль розділена на лінії подачі й напірну магістралі довжиною відповідно  $L_1$  і  $L_2$ .

2. Необхідною умовою виникнення КГУ на робочі елементи насосів є ТГН потоку.

Достатньою умовою виникнення КГУ є відмова по працездатності насоса, викликана критичними гідродинамічними навантаженнями по робочим елементам, які перевищують гранично допустимі значення  $N_{кр}$ . Максимально допустимі (критичні) значення масової витрати  $G_{кр}$  і / або середньої швидкості потоку  $v_{кр}$ :

$$G \geq G_{кр} = F \sqrt{2\rho N_{кр}}; \quad v \geq v_{кр} = \sqrt{\frac{2N_{кр}}{\rho}}, \quad (1)$$

де  $G$ ,  $v$  - поточні значення масової витрати і середньої швидкості потоку відповідно;  $F$  - площа прохідного перетину трубопроводу;  $\rho$  - щільність потоку;  $N_{кр}$  - максимально допустимі навантаження на робочі елементи насоса, що визначаються його конструкційно-технічними характеристиками.

3. Визначальні параметри умов виникнення ТГН і КДУ.

Видаткова (мережева) характеристика залежності гідродинамічного напору насоса  $P_H$  від масової витрати  $G$  або середньої швидкості потоку в трубопровідній системі  $v$ :

$$\Delta P_H = f(G); \quad \Delta P_H = f(v). \quad (2)$$

Чутливість видаткової (мережевої) характеристики до змін витрати / швидкості потоку:

$$f' = \frac{d\Delta P_H}{dG} \quad \text{или} \quad f' = \frac{d\Delta P_H}{dv}. \quad (3)$$

Для напірних насосів проектна чутливість видаткової (мережевий) характеристики:

$$f'(G, v) \leq 0. \quad (4)$$

Умови закипання потоку в прямому трубопроводі (на вході потоку в насос), які визначаються зниженням статичного тиску  $P$  нижче тиску насичення при певній температурі потоку  $P_s$ :

$$P(G, v) \leq P_s. \quad (5)$$

У разі реалізації умови (5) на вході в насос виникає інтенсивне пароутворення (закипання) і кавітація з утворенням локального парового об'єму і «снарядного» режиму течії [2].

4. Виникнення коливальної гідродинамічної нестійкості в розглянутій трубопровідній системі може бути в результаті інерційного запізнення відповідних змін видаткової (мережевої) характеристики насоса і гідродинамічного опору магістралі: збільшення витрат  $G$

швидкості  $v$  потоку в поточний момент часу  $t$  в відповідно до формули (3) через інтервал часу  $\Delta t$  призводить до зменшення гідродинамічного напору насоса  $\Delta P_H$  і збільшення загального гідродинамічного опору магістралі  $\Delta P_0$ ; зменшення гідродинамічного напору  $\Delta P_H$  і збільшення  $\Delta P_0$  через інтервал  $\Delta t$  призводить до подальшого зменшення  $G/v$  і т.д.

При недостатній поточній чутливості видаткової характеристики насоса  $f$  період і амплітуда коливань витрати (швидкості) збільшуються і можуть досягати критичних значень (1), при яких система фактично переходить в стан аперіодичної нестійкості [1, 3]. Будь-яке випадкове (флуктуаційне) обурення гідродинамічних параметрів призводить до імпульсного («стрибкоподібного») переходу трубопровідної системи в стан з КГУ по насосу при «замиканні» напірної ділянки трубопровідної магістралі (умова КГУ (1)) або при різкому локальному зниженні гідродинамічного опору і збільшення швидкості потоку (умова КГУ (5)).

При припущеннях нестискаємості рідини і ізотермичності процесів рівняння руху потоку в даній трубопровідній системі та поточної зміни гідродинамічного напору насоса (6,7) [3,4].

$$\rho L \frac{dv}{dt} = \Delta P_H(v) + P_1 - P_2 - \Delta P_1(v) - \Delta P_2(v), \quad (6)$$

$$\Delta P_H = \Delta P_{\text{нм}} + \int_0^t f'(v) \frac{dv}{d\tau} d\tau + f'_v \cdot t \quad (7)$$

Гідродинамічний опір на лінії  $L_1$  і напірної  $L_2$  магістралі (8, 9) (рис. 1)

$$\Delta P_1 = \left[ \xi_{\text{тр}} \frac{L_1}{D} + \sum_{i=1} \xi_{\text{mi}}(L_1) \right] \rho v^2 - \rho g \sum_{j=1} h_j \text{sign}[v_j(L_1)] \quad (8)$$

$$\Delta P_2 = \left[ \xi_{\text{тр}} \frac{L_2}{D} + \sum_{i=1} \xi_{\text{mi}}(L_2) \right] \rho v^2 - \rho g \sum_{j=1} h_j \text{sign}[v_j(L_2)] \quad (9)$$

Для приведення рівнянь до критеріальної форми введемо безрозмірні змінні гідродинамічних параметрів і їх відповідних масштабів:

$$\bar{v} = \frac{v}{v_{\text{кр}}}; \quad \bar{t} = \frac{t}{t_{\text{к}}}$$

Тоді в критеріальній формі рівняння (6) і (7) мають вигляд:

$$\rho \frac{L v_{\text{кр}}}{\Delta P_{\text{нм}} t_{\text{м}}} \frac{dv}{dt} = \Delta P_H + P_1 - P_2 - \Delta P_1 - \Delta P_2, \quad (10)$$

$$\Delta P_H = 1 + \int_0^{\bar{t}} \frac{d\Delta P_H}{dv} \frac{dv}{d\tau} d\tau. \quad (11)$$

Тимчасовий масштаб процесу  $t_{\text{м}}$  впливає з рівняння (10):

$$\frac{\rho L v_{\text{кр}}}{\Delta P_{\text{нм}} t_{\text{м}}} \equiv 1 \Rightarrow t_{\text{м}} = \frac{\rho L v_{\text{кр}}}{\Delta P_{\text{нм}}}. \quad (12)$$

Максимально допустимі (критичні) значення масової витрати  $G_{\text{кр}}$  і / або середньої швидкості потоку  $v_{\text{кр}}$ :

$$G \geq G_{\text{кр}} = F \sqrt{2\rho N_{\text{кр}}}; \quad v \geq v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{2N_{\text{кр}}}{\rho}}, \quad (13)$$

Умови закипання потоку в прямому трубопроводі (на вході потоку в насос), які визначаються зниженням статичного тиску  $P$  нижче тиску насичення при певній температурі потоку  $P_s$ :

$$P(G, v) \leq P_s. \quad (14)$$

Критична для КГУ швидкість потоку впливає з умов (13) і (14):

$$v_{\text{кр}} = \min \left\{ \sqrt{\frac{2N_{\text{кр}}}{\rho}}, \sqrt{\frac{2[P_1(L_1) - P_s]}{\rho}} \right. \quad (15)$$

### Інформаційні джерела

1. С.А. Хачатурян. Волновые процессы в компрессорных установках. М.: Машиностроение, 1983, 222 с.
2. А.В. Королев. Анализ и моделирование теплоэнергетического оборудования, работающего с двухфазными течениями. Одесса: Астропринт, 2010, 456 с.
3. В.И. Скалозубов, А.А. Ключников, Ю.А. Комаров, А.В. Шавлаков. Научно-технические основы мероприятий повышения безопасности АЭС с ВВЭР. Чернобыль: Ин-т проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2010, 200 с.
4. А.В. Королев, Х.Ю. Чжоу. Исследование динамики поршневого насоса в нормальном режиме и при срыве подачи // Холодильная техника. 2016, вып. 5. №52, с. 4–8.
5. Проект углубленного анализа безопасности энергоблока №5 Запорожской АЭС. Сбор базы данных по надежности. ВОА 1900083-А-Р4. Руководство по проекту. ZPG-1.3. 10021ZG41R, ЗАЭС, 1998г.

---

## РОЗВИТОК «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ, МАЙБУТНЄ ЗА NZEV І NZEV БУДІВЛЯМИ.

*Ткач Сергій аспірант ОНАХТ*

Здобуття енергонезалежності та сталий розвиток - один із пріоритетів України. Ключовими інструментами для цього є підвищення енергоефективності та розвиток «зеленої» енергетики. Обраний курс відповідає світовим тенденціям, а також цілям Паризької кліматичної угоди, Директив ЄС та нової програми ЄС «European Green Deal» [1], до реалізації якої також планує долучитися Україна. Актуальності теми дуже висока, оскільки сектор будівель – один із найбільш енергоємних. За даними Держстату [2], у 2020 р. побутовий сектор (житлові будівлі) в Україні використав близько третини всього енергоспоживання, а саме – 28,4%. Обраний курс відповідає світовим тенденціям, а також цілям Паризької кліматичної угоди, Директив ЄС та нової програми ЄС «European Green Deal», до реалізації якої також планує долучитися Україна.

Потенціал «зеленого» фінансування в Україні, за оцінками IFC, може сягнути 70 млрд євро до 2030 року. Лише за останні 5 років залучено 6,7 млрд євро інвестицій в український ринок енергоефективності та «зелених» проектів. Заміщення імпорту газу залишається актуальним. У 2019 р. Україна спожила майже 30 млрд м<sup>3</sup> газу. З них понад 14 млрд м<sup>3</sup> газу імпортовано. На це витрачено 3 млрд доларів, які можна було б заощадити завдяки місцевому паливу. Приведені статистичні дані, підкреслюють важливість галузі опалення і

**ВПЛИВ ІНФІЛЬТРАЦІЇ НА ТЕПЛО-ВОЛОГІСНИЙ РЕЖИМУ БУДІВЕЛЬ.** Кружилов О.Г, бакалавр ІХКЕ ОНАХТ, Мокруха О.О бакалавр, ІХКЕ ОНАХТ, Ткач Д.М.. бакалавр ІХКЕ ОНАХТ

Наукові керівники Жихарева Н.В: к.т.н., доцент кафедри ХУіКП ОНАХТ

Козут В.О. к.т.н., доцент кафедри ХУіКП ОНАХТ.....54

**ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КАНАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

Кошельнік Я.В. магістрант ІХКЕ ОНАХТ, м. Одеса, Кифаренко А.І., бакалавр ФОТК ОНАХТ

Науковий керівник Жихарева Н.В: к.т.н., доцент кафедри ХУіКП ОНАХТ....56

**.НОВЕ ПОКОЛІННЯ ФРЕОНІВ**

Мовчан В.В бакалавр ОТК ОНАХТ,

Науковий керівник Бригадир Л.Г. викладач ОТК ОНАХТ.....57

**СИСТЕМИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ З ЗОНАЛЬНИМ ОХОЛОДЖЕННЯМ**

Птацюк О.О , магістр ОНАХТ, Користа В.Ю магістр ОНАХТ,

Науковий керівник : Козут В.О. к.т.н., доц., доц. кафедри ХУіКП ОНАХТ...59

**ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ДЛЯ ЧИСТИХ ПРИМІЩЕНЬ**

Скачко І.М., магістр ІХКЕ ОНАХТ.....

м. Одеса

Науковий керівник Жихарева Н.В: к.т.н., доц.кафедри ХУіКП ОНАХТ.....60

**ОСОБЛИВОСТІ ОСУШЕННЯ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ З БАСЕЙНОМ**

Післегін А., магістр ІХКЕ ОНАХТ.....

Науковий керівник Жихарева Н.В: к.т.н., доцент кафедри ХУіКП ОНАХТ ...61

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ПРИПЛИВНИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ**

Борецький Ю.О. бакалавр ІХКЕ ОНАХТ, Коханський А.Ф. бакалавр ІХКЕ ОНАХТ.

Науковий керівник Жихарева Н.В: к.т.н., доцент кафедри ХУіКП ОНАХТ ...62

**МОДЕЛЮВАННЯ УМОВ ВИНИКНЕННЯ І НАСЛІДКІВ ГІДРОДИНАМІЧНИХ УДАРИВ У РОЗІМКНУТИХ КОНТУРАХ З НАСОСАМИ**

Пірковоцький Д.С. доктор філософії, ОНПУ, Алалі Мохаммад аспірант, ОНПУ,

Рабіа Альгербі. аспірант ОНПУ.....64

**РОЗВИТОК «ЗЕЛЕНОЇ» ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ, МАЙБУТНЄ ЗА NZEV І NZEV БУДІВЛЯМИ.**

Ткач Сергій аспірант ОНАХТ

Науковий керівник: Хмельнюк М.Г, проф. д.т.н., ІХКЕ ОНАХТ.....67

**DEFROSTING SYSTEM MODIFICATION FOR THE MARINE VESSELS COOLING EQUIPMENT**

Yalama V.V.a, PhD. Student, Hmelnyuk M.G.b, Doct. Tech. Sc., professor.....69

**АНАЛІЗ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВОЇ ХОЛОДИЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ.**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ХОЛОДУ, КРІОТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕКОЕНЕРГЕТИКИ ІМ. В. С. МАРТИНОВСЬКОГО**

## **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

**ЗА МАТЕРІАЛАМИ  
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ  
ОНЛАЙН-КОНФЕРЕНЦІЇ**

**МОЛОДИХ ВЧЕНИХ, АСПРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ**

**«СТАН, ДОСЯГНЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ  
ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ»**

*14-15 травня 2021 року*

©Одеська національна академія харчових технологій  
© Навчально-науковий інститут холоду, кріотехнологій  
та екоенергетики ім. В. С. Мартиновсько