

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, АСПІРАНТІВ ТА СТУДЕНТІВ

**«СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ
ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ»**

27-28 листопада 2020 року



Одеса - 2020

УДК 621.56/59(03)
ББК 31.3
К-14

**Збірник докладів 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 наукових праць за матеріалами Всеукраїнської науковотехнічної онлайн-конференції молодих учених та студентів «**Сучасні проблеми холодильної техніки і технології**» 27-28 листопада 2020 року. – Одеса : ТЕС., 2020. – 175 с.

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

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

©Одеська національна академія харчових технологій,2020
© 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 – д.т.н., проф. Хмельнюк М.Г.;

Науковий секретар - к.т.н.доц. Жихарева Н.В.

Члени оргкомітету - к.т.н. доц. Зімін О.В., к.т.н.доц. Когут В.О., к.т.н. Яковлева О.Ю., к.т.н.доц. Желіба Ю.О., к.т.н. Трандафілов В.В., к.т.н. Остапенко О.В., к.т.н.доц. Подмазко О.С.

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

Інтегруючи рівняння затухання при відповідній граничній умові, отримаємо вираз розподілу Pr_t в потоці рідини

$$Pr_t = Pr_{t\delta} + (Pr_{tct} - Pr_{t\delta}) \exp\left(-C \frac{y}{\delta}\right), \quad C = C_1 Ra_M^{C_2}.$$

Порівнюючи результати чисельного моделювання з використанням коду ANSYS CFX 15.0 з результатами проведеного на кафедрі теплоенергетики та холодильної техніки НУХТ експериментального дослідження танення льоду (порівнювались середні значення теплового потоку на поверхні льоду), отримали значення коефіцієнтів в рівнянні для Pr_t , що забезпечують адекватність результатів моделювання та результатів експерименту $C_1 = 3,5 \cdot 10^{-2}$; $C_2 = 0,25$.

Тоді, результуючий вираз для визначення турбулентного числа Прандтля набуде вигляду

$$Pr_t = Pr_{t\delta} + (Pr_{tct} - Pr_{t\delta}) \cdot \exp[-3,5 \cdot 10^{-2} Ra_M^{0,25} (y/\delta)].$$

Висновок. Із застосуванням принципу Ле Шательє-Брауна розроблена модель зміни турбулентного аналога числа Прандтля в зоні затухання турбулентності поблизу твердої поверхні умов змішаної конвекції води поблизу точки інверсії в обмеженому просторі.

Інформаційні джерела

1. Багаев Д.В., Сыралева М.Н. Численное моделирование свободно-конвективного течения около вертикальной поверхности нагрева. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 2(384): 93–98.
2. Dennis A. Yoder. Comparison of Turbulent Thermal Diffusivity and Scalar Variance Models. American Institute of Aeronautics and Astronautics. 2020. – 22 p.
3. Kays, W. M., “Turbulent Prandtl Number – Where Are We?” Transactions of the ASME, Journal of Heat Transfer, Vol. 116, May 1994, pp. 284–295

УДК 621.57:004.94

ВЕРИФІКАЦІЯ ANSYS CFX-КОДУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ ПІД ЧАС ТАНЕННЯ ЛЬОДУ В ЗАМКНЕНІЙ ПОРОЖНИНІ

*Грищенко Р.В., асистент, Форсюк А.В., професор кафедри ТЕХТ,
Національний університет харчових технологій, м.Київ*

Важливість верифікації моделей для задачі танення льоду в замкненій порожнині визначається, в першу чергу, тим, що в рідині під час змішаної конвекції в обмеженому просторі, як правило, реалізується перехідний від ламінарного до турбулентного режим течії з низькими інтенсивностями зсуву. В дійсності, при обтіканні верти-

кальної поверхні низькорейнольдсовим потоком завжди утворюється граничний шар, що розвивається, та властивості якого суттєвим чином залежать від зовнішньої турбулентності та інтенсивності теплообміну на твердій поверхні. Однак, всі стандартні моделі перенесення турбулентності в поширених комерційних CFD-кодах (в т.ч. «Standard k- ϵ », «Standard k- ω » та «SST k- ω » у ANSYS CFX) переважно верифіковані для розвинених турбулентних зсувних течій в каналах простої форми. Тому вважатимемо достатньою наведену в науковій літературі інформацію про верифікацію та валідацію двохпараметричних моделей турбулентності до чисельного дослідження течій з переважаючим впливом сил плавучості.

На сьогодні відомі нечисленні спроби порівняльної верифікації широко застосовуваних «комерційних» кодів, та, практично, немає інформації про комплексні дослідження з їх верифікації. В свій час ламінарні і турбулентні тести були запропоновані декільком постачальникам CFD-кодів Координаційною Групою з обчислювальної гідродинаміки (Coordinating Group for Computational Fluid Dynamics) відділу гідродинаміки ASME (Fluids Engineering Division of ASME) [1]. Була розроблена серія з п'яти базових задач, але й вони не відносились до числа задач конвекції із переважаючим впливом сил плавучості.

International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (IAHR) був розроблений тест (IAHR-Benchmark) для верифікації кодів до задач змішаної конвекції [2] (числа Релея під час експерименту були порядку 1011, але розрахунки можна розглядати як крок до перевірки інших чисел Релея). Відповідно, E. Kgerger et al. [3] валідували комерційні CFD-коди ANSYS/FLOTRAN та CFX-4 для моделювання природної конвекції. Підтверджено, що в обох кодах стандартна модель турбулентності k- ϵ здатна моделювати поля швидкості та температури, добре узгоджуючись з експериментальними даними. Zitzmann et al. [4] верифікували код CFX-5 для моделювання вільної конвекції в порожнині з вертикальними стінками різної температури, використовуючи як еталонні результати експериментальних досліджень та чисельних моделей. Результати якісно узгоджуються з еталонними даними для турбулентної вільної конвекції. Моделі турбулентності k- ω і k- ω SST забезпечили найкращу відповідність результатам експериментальних досліджень.

Для верифікації моделі на кафедрі TEXT з використанням коду ANSYS CFX 15.0 було проведене CFD-моделювання процесів перенесення нестационарного вільноконвективного перенесення в об'ємі, відповідному експериментальній секції для дослідження танення льоду TEXT НУХТ. Фізико-математична модель відповідала попередньо сформульованій. Аналізувались два випадки:

- початкова середньомасова температура рідини дорівнює температурі інверсії густини $T_0 = 4\text{оС}$ ($T_m^* = 1,0$) та температура холодної поверхні $T_0 = 0\text{оС}$;
- початкова середньомасова температура рідини задавалась вищою температурі інверсії густини $T_0 = 10\text{оС}$ (параметр інверсії $T_m^* = 0,4$) та температура холодної поверхні $T_0 = 0\text{оС}$.

Для $T_m^* > 1,0$, як і очікувалось, поле швидкості протягом чисельного експерименту мало один контур циркуляції. Це пов'язане з тим, що в межах температур $0...4\text{оС}$ зміна температури пропорційна зміні густини води. Водночас, очевидно, напрям циркуляції протилежний випадку вільноконвективного руху рідини без інверсії густини. Для $T_m^* < 1,0$ спостерігаються два контури циркуляції, що обертаються в протилежних напрямках, як і очікувалося для цієї фізичної ситуації, коли діапазон температур містить точку інверсії густини. Причому, із збільшенням T_m^* границя контурів зміщується в протилежну від охолоджуючої поверхні сторону. Коли T_m^*

досягає значення $T_m = 1,0$, циркуляція стає одноконтурною. Межа контурів циркуляції відповідає ізотермічній поверхні $T = 4$ оС (ізотерма точки інверсії густини), що підтверджує ефект інверсії густини в режимі домінування природної конвекції. Схема потоку повністю залежить від значень параметра інверсії щільності. Структура потоку змінюється від одноконтурного до двоконтурного при зміні параметра інверсії від 0 до 1.

Під час змішаної квазістаціонарної конвекції, незалежно від значення T_m^* спостерігається три контури циркуляції, відносний розмір яких визначається співвідношенням вимушено- та вільноконвективних складових (середньомасовою температурою рідини та значенням числа середньомасового числа Рейнольдса).

Один контур циркуляції генерується реверсивним пограничним шаром природної конвекції біля поверхні охолодження. Два інших контури циркуляції генеруються затопленим струменем рідини навколо поверхні його симетрії.

Слід відзначити, що поверхня симетрії затопленого струменя рідини, очевидно, характеризується максимумом швидкості. А оскільки, значенням екстремумів швидкості рідини відповідають нульові значення напружень зсуву та, очевидно, їм властиві мінімальні значення величини виробництва турбулентної кінетичної енергії (ТКЕ). Це підтверджується розрахунковими полями ТКЕ. Також з аналізу полів ТКЕ можна зробити висновок, що її продукування визначається, в першу чергу, як і очікувалось, вимушеноконвективною складовою руху. Максимальні значення ТКЕ спостерігаються в області затопленого струменя рідини. Поблизу твердих поверхонь за межами струменя величина ТКЕ прямує до нуля. Тобто, процеси перенесення під дією сил плавучості реалізуються, переважно, за рахунок в'язкісного механізму. А це означає, що, як і слід очікувати, режими руху рідини за рахунок сил плавучості поблизу твердих поверхонь є не турбулентними, а перехідними від ламінарного до турбулентного (transient flow).

Тобто, можна зробити висновок, що результати аналізу полів швидкості, температури та турбулентної кінетичної енергії відповідають сучасним уявленням про фізичний механізм процесів перенесення механічної та внутрішньої енергії під час вільної та змішаної конвекції.

Інформаційні ресурси

1. Freitas C. J. Selected Benchmarks From Commercial CFD Codes. ASME J. Fluids Eng., 1995. 117, p.p. 210–218.
2. Kamide H., Ieda Y., Ninokata H. Benchmark Problem Description, prepared for the 7th Meeting of the IAHR Working Group on Advanced Nuclear Reactors Thermal Hydraulics, Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, August 1991.
3. Krepper E., Willschütz H.-G., Weiß F.-P. Solution of a Mixed Convection Flow Benchmark Using Computational Fluid Dynamic Codes. International conference on nuclear engineering. Tokyo (Japan), 19-23 Apr. 1999.
4. Zitzmann T. , Cook M. , Pfrommer P. , Rees S. , Marjanovic L. Simulation of Steady-State Natural Convection Using CFD. Ninth International IBPSA Conference Montréal, Canada. August 15-18, 2005. p.p. 1449-1456.

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИНЦИПУ ЛЕ ШАТЕЛЬЄ-БРАУНА ПІД ЧАС МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ В УСТАНОВКАХ АКУМУЛЮВАННЯ ХОЛОДУ

Р.В.Грищенко, асистент, С.М.Василенко, завідувач кафедри ТЕХТ, Національний університет харчових технологій, м.Київ.....78

ВЕРИФІКАЦІЯ ANSYS CFX-КОДУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІНУ ПІД ЧАС ТАНЕННЯ ЛЬОДУ В ЗАМКНЕНІЙ ПОРОЖНИНІ

Грищенко Р.В., асистент, Форсюк А.В., професор кафедри ТЕХТ, Національний університет харчових технологій, м.Київ.....80

МОДЕРНІЗАЦІЯ ХОЛОДИЛЬНОЇ КАМЕРИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ З РЕТРОФІТУ.

Дудко А.Н.,аспірант, Ершов В.О., аспірант, Козут В.О., к.т.н., доцент, Жихарева Н.В., к.т.н., доцент., ОНАХТ Одеса.....83.

MATHEMATICAL ASPECTS OF SYSTEM AIR CONDITIONING, CREATING DECORATIVE FOUNTAINS FOR COOLING AIR

Zhykharieva N. s.t.f., ass. Prof, ONAFT,. Kogut V. s.t.f., ass. Prof., ONAFT, Krushelnyskkyi D., graduate student ONAFT, student ONAFT Dragnev M.....85

THE SEARCH OF ENERGY-EFFICIENT OPERATION MODE OF AMMONIA-WATER ABSORPTION REFRIGERATION MACHINES

Osadchuk E.A.,assistant, Kirilov V.Kh., prof.,Titlov A.S. prof. ONAFT.....88

DESIGN OF PERIODIC OPERATION AMMONIA-WATER ABSORPTION REFRIGERATION UNITS IN ATMOSPHERIC WATER GENERATION SYSTEMS

Ozolin N.E., Titlov A.S., Kravchenko V.V., prof.,Titlov A.S. prof. ONAFT,.....91

РОЗРОБКА АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕННЯ НА БАЗИ ПОНОВЛЮВАНИХ І НЕПРИДАТНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

Алімкешова А.Х.І, Джамашева Р.А.І, Цой О.П.І, канд. техн. наук, професор д-р техн. наук, професор Титлов А.С.²1 – Алматинський технологічний університет 2 – Одеська національна академія харчових технологій..... 95

РОЗРОБКА І ОБҐРУНТУВАННЯ СХЕМНИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Балаєвич О.О., магістр, Тітлов О.С., д-р техн. наук, професор ОНАХТ.....97

РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ УПРАВЛІННЯ ХОЛОДИЛЬНИМИ АПАРАТАМИ АБСОРБЦІЙНОГО ТИПУ

Березовська Л.В., аспірант, Тітлов О.С., д-р техн. наук, професор, Тітлова О.О., канд. техн. наук, доцент, ОНАХТ.....101

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТЕПЛОАВАНТАЖЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ЖИТТЄЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З КОМБІНОВАНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Білецький А.М., магістр, Тітлов О.С., д-р техн. наук, професор ОНАХТ.....102

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

«СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ХОЛОДИЛЬНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

27-28 листопада 2020 року

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