

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М.Потебні
Запорізького національного університету

А.О. Чейлитко, С.В. Ільїн, С.Є. Чижов, В.О. Кірюшков, О.В. Сидоренко

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

Навчальний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності 144 «Теплоенергетика»
освітньо-професійної програми «Теплоенергетика»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № від 2021р.

Запоріжжя
2021

УДК 001+621.1
О-751

Чейлитко А.О., Ільїн С.В., Чижов С.Є., Кірюшков В.О., Сидоренко О.В.
Основи наукових досліджень в теплоенергетиці: навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійної програми «Теплоенергетика». Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2021. 107 с.

Навчальний посібник містить програмний матеріал для вивчення дисципліни «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці та гідроенергетиці». Це теоретичні відомості, питання для самоконтролю та практичні завдання. Курс «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці та гідроенергетиці» входить до обов'язкових дисциплін, вивчення яких передбачене при підготовці професіоналів-енергетиків за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика».

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика».

Рецензенти:

В.А. Банах, доктор технічних наук, професор, професор кафедри промислового та цивільного будівництва, проректор з науково-педагогічної роботи та технічної освіти ЗНУ;

П.Є.Тарасов, директор інжинірингової компанії ТОВ «Провітерм-Запоріжжя», стейкхолдер освітньо-професійної програми «Теплоенергетика».

Відповідальний за випуск

А.О. Чейлитко, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри теплоенергетики та гідроенергетики ЗНУ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. Основні питання дослідницької роботи	6
РОЗДІЛ 2. Дослідження по визначенню теплофізичних характеристик матеріалів.....	33
РОЗДІЛ 3. Публікація фахової та міжнародної статті	44
РОЗДІЛ 4. Дослідження та випробування теплотехнічних апаратів	67
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	91
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	93
ДОДАТОК А	95
ДОДАТОК Б	99

ВСТУП

Використання запропонованого посібника передбачає ознайомлення з базовими питаннями методики науко-технічних досліджень, із сучасними методами моделювання властивостей матеріальних об'єктів, методами планування і проведення експериментів, математичною обробкою їх результатів, пошуком оптимальних рішень, впровадженням дослідницьких робіт у виробництво, що дозволить майбутнім фахівцям творчо вирішувати складні питання технічного переозброєння галузі.

Курс «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці та гідроенергетиці» належить до циклу дисциплін загальної підготовки здобувачів ступеня вищої освіти магістра, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Теплоенергетика».

Основними завданнями вивчення курсу «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці та гідроенергетиці» є: закріплення знань, на базі яких будуть засвоєні професійні та прикладні знання проведення наукових досліджень; оволодіння студентами методикою абстрактного мислення, аналізу та синтезу нових та комплексних ідей; набуття вмінь розв'язувати комплексні проблеми в галузі професійної та дослідницько-інноваційної діяльності; набуття навичок започаткування, планування та проведення наукових досліджень із забезпеченням якості виконуваних робіт, дотриманням правил безпеки та дбайливого ставлення до навколишнього середовища.

Мета вивчення навчальної дисципліни «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці та гідроенергетиці» - опанувати наукові методи оптимального проєктування, дослідження і розрахунку елементів енергетичних систем. Активізація та інтенсифікація процесу навчання досягається завдяки використанню сучасних програмних комплексів та продуктів, розгляду проблемних ситуацій.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- наукове обладнання та методи проведення досліджень із визначення коефіцієнта теплопровідності та теплоємності матеріалів;
- сучасні технології та методи при проєктуванні та експлуатації енергетичного обладнання;
- статистичні методи при обробці емпіричних даних;
- основні вимоги до складання та оформлення звіту про закінчену науково-дослідницьку роботу.

уміти:

- проводити аналіз математичного планування експерименту;
- застосовувати статистичні методи при обробці даних;

- застосовувати математичні моделі процесів енергообміну для наукового дослідження;
- синтезувати та аналізувати критерії функціонування енергетичних систем і їх окремих елементів.

Відповідно до структурно-логічної схеми освітньо-професійної програми «Теплоенергетика» магістерського рівня курс «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці» тематично пов'язаний з такими дисциплінами: «Прикладні питання тепломасообміну» та «Інноваційні технології та енергоефективне обладнання».

РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПИТАННЯ ДОСЛІДНИЦЬКОЇ РОБОТИ

План:

- 1.1 Структура дослідницької діяльності
- 1.2 Методи обґрунтування тем досліджень
- 1.3 Аналіз інформації по темі дослідження
- 1.4 Методологія дослідження
- 1.5 Методи теоретичних досліджень
- 1.6 Аналітичні методи дослідження
- 1.7 Аналітичні методи досліджень з використанням експериментів
- 1.8 Ймовірно-статистичні методи досліджень
- 1.9 Методи системного аналізу
- 1.10 Методологія експерименту
- 1.11 Розробка плану-програми експерименту
- 1.12 Фізичний експеримент в теплоенергетиці
- 1.13 Моделювання фізичних явищ і технічного устаткування

Мета вивчення розділу: формування уявлення щодо сутності та основних завдань дослідницької роботи, ознайомлення із основними питаннями дослідницької діяльності, розгляд різноманітних методів дослідження, аналізу інформації за темою дослідження.

Ключові поняття: методи дослідження, послідовність проведення досліджень, моделювання процесу, план-програма експерименту, фізичний експеримент.

1.1 Структура дослідницької діяльності

Одна з головних функцій науки і її цілей - пізнання об'єктивного світу. Впровадження науки у виробництво виражається в зростанні продуктивності праці, створенні нових машин і матеріалів, поліпшенні експлуатаційних показників, надійності і довговічності продукції, зниженні її собівартості.

Розкриваючи закономірні зв'язки дійсності, наука виражає їх в абстрактних поняттях і схемах, суворо їй відповідних.

Розвиток науки йде від збору фактів, їх вивчення і систематизації, узагальнення і розкриття окремих закономірностей до зв'язаної, логічно стрункої системи наукових знань, яка дозволяє пояснити вже відомі чинники і передбачити нові.

Процес пізнання включає накопичення фактів. Без систематизації і узагальнення, без логічного осмислення фактів не може існувати жодна наука. З

іншого боку, факти стають складовою частиною наукових знань, лише якщо вони виступають в систематизованому, узагальненому вигляді.

Найбільш високою формою узагальнення і систематизації знань є теорія. Під теорією розуміють вчення про узагальнений досвід, практику, що формулює наукові принципи і методи, які дозволяють узагальнити, пізнати існуючі процеси і явища, проаналізувати дію на них різних чинників і запропонувати рекомендації по використанню їх в практичній діяльності людей.

Коли фактичного матеріалу недостатньо, як засіб досягнення наукових результатів використовуються *гіпотези* - науково обґрунтовані припущення, що висувуються для пояснення якого-небудь процесу, які після перевірки можуть виявитися достеменними або помилковими. Гіпотеза виступає часто як первинне формулювання, чорновий варіант законів, що висувуються.

Формою здійснення і розвитку науки є *дослідження*, тобто вивчення процесів і явищ, аналіз впливу на них різних чинників, а також вивчення взаємодії між явищами з метою отримати переконливо доведені і корисні для науки і практики рішення з максимальним ефектом.

Дослідження має об'єкт, предмет, на пізнання якого воно направлене.

Об'єкт дослідження - це та частина матеріального світу, яка привернула увагу дослідника, їм може бути предмет матеріального світу.

Предмет дослідження - це дана сторона об'єкту дослідження, а також його досліджувані властивості і область використання.

Мета дослідження - визначення конкретного об'єкту і всебічне, достовірне вивчення його структури, характеристик, зв'язків на основі розроблених в науці принципів і методів пізнання, а також здобуття корисних для діяльності людини результатів, впровадження у виробництво і здобуття ефекту.

Метод - це сукупність прийомів або операцій практичного або теоретичного освоєння дійсності, підлеглих рішенню конкретної задачі. Фактична різниця між методом і теорією має функціональний характер: формуючись як теоретичний результат попереднього дослідження, метод виступає як вихідний пункт і умова майбутніх досліджень.

Виконання дослідження нерозривно пов'язане з його *методологією*, під якою розуміють сукупність методів, способів, прийомів, їх певна послідовність, схема, прийнята при розробці дослідження.

Всі задачі можна розділити на емпіричні і теоретичні.

Емпіричні задачі направлені на виявлення, точний опис і ретельне вивчення різних чинників явищ, що вивчаються, й процесів.

Теоретичні задачі направлені на вивчення і виявлення причин, зв'язків залежностей, що дозволяють встановити поведінку об'єкту, визначити і вивчити його структуру, характеристику на основі розроблених в науці принципів і методів пізнання. В результаті отриманих знань формулюють закони, розробляють теорію,

перевіряють факти. Теоретичні пізнавальні задачі формують так, щоб їх можна було перевірити емпірично.

Відповідно до цього в кожному науковому дослідженні можна виділити два рівні:

емпіричний - на якому відбувається процес накопичення фактів;

теоретичний - досягнення синтезу знань (у формі наукової теорії).

Згідно цим рівням, загальні методи пізнання можна розділити на три групи, грані між якими визначені приблизно:

- методи емпіричного дослідження;
- методи, що використовуються на емпіричному і теоретичному рівнях;
- методи теоретичного дослідження.

Результати досліджень оцінюються тим вище, чим вище науковість зроблених висновків і узагальнень, чим достовірніше вони і ефективніше. Вони повинні створювати основу для нових розробок.

Фундаментальні дослідження направлені на створення нових принципів. Мета їх - розширити знання суспільства, більш глибоко зрозуміти закони природи, розробити нові теорії.

Прикладні дослідження базуються на результатах фундаментальних досліджень і направлені на створення нових методів, на основі яких розробляють нове устаткування, нові машини і матеріали, способи виробництва і організації робіт та інше. Вони задовольняють потребу суспільства в розвитку конкретної галузі виробництва.

Мета розробок - перетворювати прикладні (або теоретичні) дослідження в технічні застосування. Вони не вимагають здобуття нових наукових досліджень. Кінцева мета розробок, які проводяться в дослідно-конструкторських бюро, проектних, дослідних виробництвах - підготувати матеріал для впровадження.

Дослідницьку роботу проводять в певній послідовності (рисунк 1.1):

Формулювання і обґрунтування актуальності вибраної теми.

Загальне ознайомлення з проблемою, по якій належить виконувати дослідження. Попереднє ознайомлення з літературою і класифікація найважливіших напрямів. Формулювання теми дослідження. Складання анотації (короткого плану) дослідження. Складання загального календарного плану дослідницької роботи. Попереднє визначення очікуваного економічного ефекту.

Постановка мети і задач дослідження.

Постановка задачі досліджень є важливим етапом вивчення роботи теплових процесів і установок. Правильно сформульована задача досліджень значною мірою полегшує її рішення. При вивченні теплових процесів і установок можна виділити два типи задач:

- 1) встановлення залежності зміни окремих показників процесу від вихідних параметрів матеріалу або технологічного процесу;
- 2) оптимізація окремих параметрів при заданих ресурсних обмеженнях.

До задач першого виду відноситься, наприклад, знаходження впливу швидкості руху і температури теплоносія на зміну вологовмісту матеріалу при сушінні, зміна температури матеріалу на поверхні і в центрі при тепловологій обробці матеріалу і т.д.

До задач другого виду при тепловій обробці матеріалів відносяться задачі оптимізації, які, у свою чергу, можуть бути розділені на дві групи:

- 1) досягнення заданої мети при мінімальній витраті ресурсів або мінімальному рівні чинників (t° , t_r ,...);
- 2) досягнення максимальних значень показників при обмеженій витраті ресурсів або величини параметрів ($R_{сж}$, $R_{из}$,...).



Рисунок 1.1 - Схема послідовності проведення досліджень

Вибір методів (методики) дослідження.

Вибір методу досліджень визначається формулюванням задачі, глибиною вивчення тих або інших теплових процесів, необхідністю обхвату окремих або груп параметрів, а також кінцевою метою роботи (встановлення впливу і взаємозв'язку при створенні промислових установок).

У практиці експериментальних досліджень найбільш відомі традиційні нестатистичні методи досліджень, методи, засновані на математичному або фізичному моделюванні (рисунок 1.2). Всі вони тісно зв'язані між собою. Наприклад, здобуття експериментальних даних у всіх випадках може бути виконане на одній і тій же установці. Проте вони характеризуються і значними відмінностями при постановці експерименту, можливістю обхвату незалежних змінних, об'ємом використання обчислювальної техніки.

Нестатистичний метод дослідження зводиться до постановки дослідів в такій послідовності, аби при переході від одного досвіду до іншого змінювалося

значення лише однієї незалежної змінної, а всі інші змінні залишалися на деякому фіксованому рівні. Якщо між незалежними змінними існує просте математичне співвідношення, то воно може бути виражене аналітичною залежністю $y=f(x)$, де $f(x)$ - лінійне або статичне вираження. Для знаходження невідомих застосовується один із засобів - графічний, метод середніх, метод найменших квадратів.

Нестатистичний метод дослідження має ряд недоліків: відрізняється значними витратами часу на виконання великої кількості випробувань, обмеженим обхватом параметрів, неможливістю перенесення отриманих закономірностей на інші аналогічні системи.

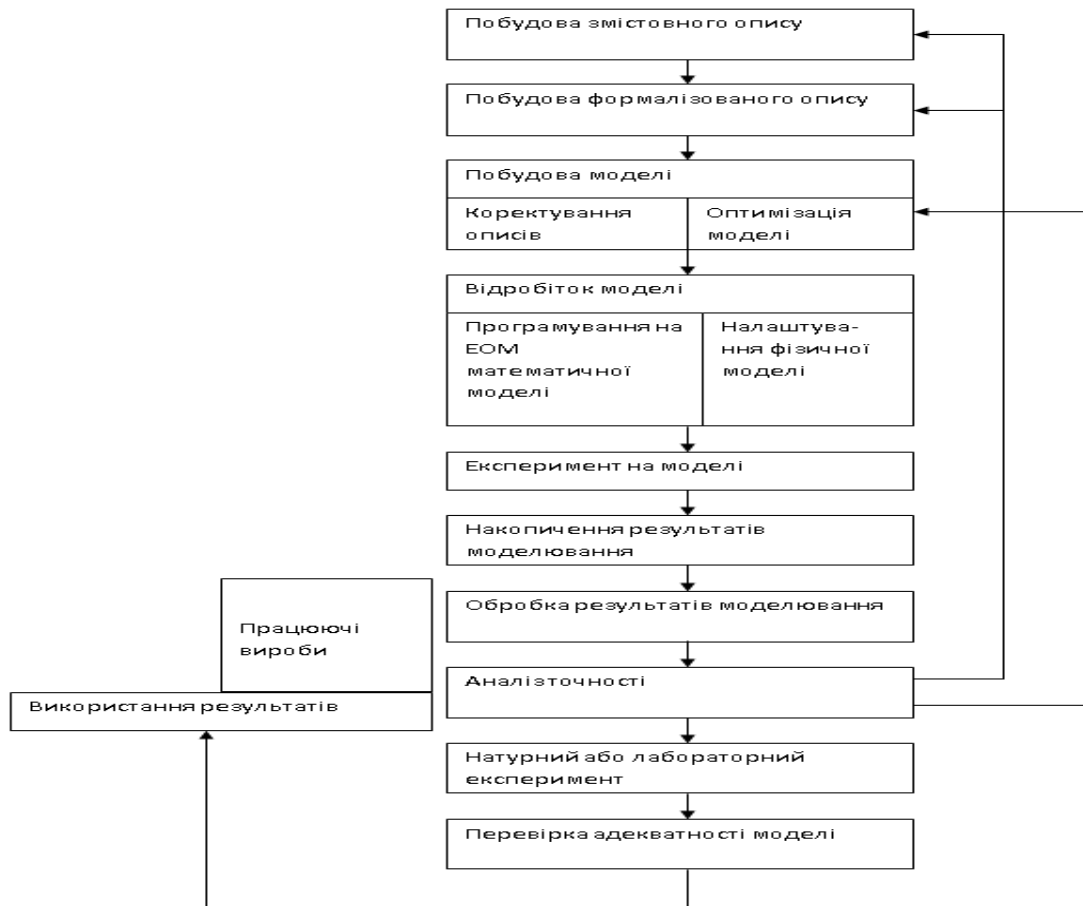


Рисунок 1.2 - Схема процесу моделювання

Теоретичні дослідження.

Вивчення фізичної суті, виконання пошукових (попередніх) експериментів. Формулювання гіпотези і вибір, обґрунтування фізичної моделі. Математизація аналітичних виразів. Теоретичний аналіз отриманих виразів.

Експериментальні дослідження.

Розробка мети і задачі експерименту. Планування експерименту. Розробка методики проведення експериментів. Вибір засобів вимірів. Конструювання приладів, макетів, апаратів, моделей, стендів, установок і інших засобів

експерименту. Обґрунтування засобів вимірів. Проведення експерименту. Обробка результатів вимірів.

Формулювання висновків і оцінка отриманих результатів. Оформлення наукових досліджень.

Загальний аналіз теоретично-експериментальних досліджень. Зіставлення експериментів з теорією. Аналіз. Уточнення теоретичних моделей, досліджень і висновків. Додаткові експерименти у разі потреби. Перетворення гіпотези на теорію. Формулювання наукових і виробничих висновків, складання науково-технічного звіту.

Впровадження і визначення економічної ефективності.

Сучасна теплоенергетика є великою високорозвиненою галуззю народного господарства. Будучи основою розвитку всіх базових галузей промисловості, вона в значній мірі визначає науково-технічний прогрес.

Перед енергетикою поставлена задача стійкого і безперебійного постачання промисловості країни енергією, в першу чергу - електричною. У зв'язку з цим великі задачі постають й перед теплоенергетикою, тепловою енергією, яка займається перетворенням в інші види енергії, головним чином в електричну і механічну.

Розвиток енергетики в даний час йде шляхом підвищення одиничної потужності устаткування. Подальше нарощування потужності пов'язане із проблемами створення потужніших турбін і котлів з підвищеними значеннями ККД, що вимагає вирішення ряду існуючих проблем.

Важливим напрямом є захист довкілля від шкідливої дії підприємств енергетики. Для зменшення викидів необхідно удосконалювати процеси спалювання органічних палив, розробляти методи попередньої обробки палив в цілях зниження вмісту сірки в продуктах викидів. Важливим є також рішення питання зниження теплового забруднення навколишнього середовища за рахунок зменшення температури води, що скидається в прилеглі басейни, і відхідних газів.

Економія паливно-енергетичних ресурсів є важливим напрямом в енергетичній політиці країни, що досягається за рахунок вдосконалення енергоємних виробничих процесів, розробки нових енергозберігаючих технологій в різних галузях народного господарства.

Дуже важливим є напрям, пов'язаний з економією витрачання матеріалів і збільшенням терміна роботи устаткування.

У зв'язку з безперервним дорожчанням енергії у всіх країнах ведуться інтенсивні дослідження по використанню поновлюваних джерел енергії - сонця, вітру, морів і океанів, теплоти Землі - в цілях створення технічних пристроїв для концентрації і акумуляції енергії, в збільшенні коефіцієнта використання енергії вітру за рахунок вдосконалення аеродинаміки профілів і конструкції вітроустановки, зниження її вартості. Використання енергії морів і океанів може здійснюватися створенням приливних і хвильових електростанцій, а також

електростанцій морських течій. При відповідному розвитку геотермальних теплових електростанцій енергія, що виробляється ними, буде найбільш дешевою.

Одним з важливіших є дослідження апаратів теплотехнології. Робота теплових установок пов'язана з одночасним протіканням теплових, масообмінних, гідромеханічних та інших процесів. При цьому на них впливають (та ще й не однаково) багато параметрів. Великі труднощі представляє створення нових видів теплових установок і реконструкція існуючих потребує знання величин основних параметрів теплових процесів. Саме при вивченні теплових, масообмінних і гідромеханічних процесів знайшли розвиток методи фізичного і математичного моделювання, теорія подібності і інші прийоми, що дозволяють досить надійно перейти від лабораторних установок до промислових, отримати необхідну інформацію при вивченні процесів на моделях і розповсюдити отримані залежності на групи подібних процесів. Особливо широкі можливості вивчення теплових процесів відкриваються у зв'язку з вживанням обчислювальної техніки, розробкою методів математичного планування експериментів і статистичної обробки результатів.

1.2 Методи обґрунтування тем досліджень

Тема - це задача, яка охоплює певну область дослідження. Вона базується на багаточисельних дослідницьких питаннях.

При розробці теми висувається конкретна задача в дослідженні - розробити новий матеріал, машину, конструкцію, прогресивну технологію.

До теми пред'являють ряд вимог.

Вона має бути *актуальною*, тобто важливою, що вимагає швидкого рішення в даний час. Це вимога одна з основних. Чіткого критерію для встановлення актуальності доки немає. Так, при порівнянні двох тем теоретичних досліджень міру актуальності може оцінити крупний учений галузі або науковий колектив. При оцінці актуальності прикладних наукових розробок помилки не виникне, якщо актуальнішою виявиться та тема, яка забезпечить більший економічний ефект.

Тема повинна мати *наукову новизну*, вносити вклад до науки. Це означає, що тема в такій постановці ніколи не розроблялася і в даний час не розробляється, тобто дублювання виключається.

Тема має бути *економічно ефективною* і мати *значущість*. Будь-яка тема прикладних досліджень повинна давати економічний ефект в народному господарстві. При розробці теоретичних досліджень ніколи вимога економічності може поступатися вимозі значущості.

Важливою характеристикою теми є можливість швидкого впровадження у виробництво. Обґрунтувавши тему, виконавець повинен добре знати виробництво і його запити на даному етапі.

У ряді випадків при плануванні тем виникає необхідність у виборі найбільш перспективних, економічно обґрунтованих тем. В цьому випадку оцінку народногосподарської необхідності розробки тем необхідно визначати чисельними критеріями.

Найпростішим є критерій економічної ефективності

$$K = E / B,$$

де E - передбачуваний економічний ефект від впровадження;

B - витрати на дослідження.

Чим вище K , тим ефективніше тема і вище її народногосподарська ефективність.

Проте критерій K не враховує об'єм впроваджуваної продукції, період впровадження. Об'єктивнішим є критерій, що обчислюється за формулою

$$K_E = \frac{C \cdot \sqrt{T}}{B},$$

де C - вартість продукції за рік після освоєння дослідження і впровадження у виробництво;

T - тривалість виробничого впровадження в роках;

B - загальні витрати на виконання дослідження, дослідне і промислове освоєння продукції і річні витрати на її виготовлення за новою технологією.

Висока ефективність теми може бути досягнута за умови, що ще до її розробки виконано *техніко-економічне обґрунтування* (ТЕО).

Мета складання ТЕО - встановити дані про новітні досягнення науки і техніку по даній темі в нашій країні і за кордоном. У ньому обґрунтовується народногосподарська потреба, передбачувані об'єми впровадження, очікувані техніко-економічні і соціальні результати.

До складу ТЕО входять наступні розділи: вихідні положення, результати заздалегідь виконаних патентних пошуків на новизну і перспективність, народногосподарська необхідність, об'єм і місце впровадження, техніко-економічні і соціальні результати.

В результаті складання ТЕО робиться висновок про доцільність і необхідність виконання дослідження.

1.3 Аналіз інформації по темі дослідження

Після вибору і обґрунтування теми роблять інформаційний пошук (сукупність операцій, направлених на пошук літератури по темі, що розробляється). Мета пошуку - всебічний аналіз інформації по темі, освітлення

стану питання (складання аналітичного огляду), уточнення при необхідності теми, обґрунтування (уточнення після ТЕО) мети і завдань дослідження.

Всю знайдену інформацію необхідно класифікувати і систематизувати. Літературні джерела потрібно піддавати ретельному критичному аналізу. В процесі активного аналізу ураховують власні міркування і думки, виявляються найбільш актуальні питання, що підлягають дослідженню в першу чергу.

Іншим варіантом аналізу є *тематичний*. Весь об'єм інформації систематизують по питаннях даної теми. Цей варіант огляду інформаційних джерел простіший, він вимагає менших витрат часу. Проте він не в повній мірі дозволяє проаналізувати інформацію, що є по темі.

Керівною ідеєю всього аналізу інформації має бути обґрунтування актуальності і перспективності передбачуваної мети дослідження.

На підставі результатів опрацювання інформації роблять методологічні висновки, в яких підводять підсумок критичного аналізу. У висновках мають бути освітлені наступні питання: актуальність теми; останні досягнення в області теоретичних і експериментальних досліджень по темі; найважливіші, найбільш актуальні теоретичні і експериментальні задачі, а також виробничі рекомендації, що підлягають розробці в даний момент; технічна доцільність і ефективність цих розробок.

На основі вказаних висновків формують в загальному виді мету і конкретні задачі дослідження.

1.4 Методологія дослідження

Метод дослідження - це сукупність прийомів, що сприяють вивченню або практичному здійсненню якого-небудь процесу. Вживаний в дослідженнях метод залежить від характеру досліджуваного об'єкту: наприклад, метод спектрального аналізу використовується для вивчення випромінюючих тіл, метод виміру твердості - для вивчення твердих тіл і т.д.

Метод дослідження визначається засобами дослідження, що є на даний період, які є матеріальною системою, що заміщує об'єкт дослідження (моделювання процесів). Методи і засоби дослідження тісно зв'язані між собою, стимулюють розвиток один одного.

У кожному дослідженні можна виділити два основні рівні:

- 1) емпіричний, на якому відбувається процес сприйняття, встановлення і накопичення фактів;
- 2) теоретичний, на якому досягається синтез знання, що виявляється, перш за все, у вигляді створення теорії.

Наукові знання є системою понять, що відображають процес розвитку навколишньої дійсності. Прикладом наукових понять в області термодинаміки

можуть бути температура і ідеальний газ, а в області теорії теплообміну - теплопровідність, конвекція і тепловий потік.

Емпіричний рівень дослідження пов'язаний з виконанням експериментів, спостережень і тому тут велика роль фізичних форм віддзеркалення навколишнього світу.

Методи емпіричного дослідження.

Спостереження - це систематичне цілеспрямоване вивчення об'єкту дослідження. В процесі спостереження безпосередньої дії спостерігача на об'єкт дослідження не відбувається. Для того, щоб бути плідним, спостереження повинне відповідати таким вимогам:

- а) спостереження проводиться для конкретної, чітко поставленої задачі;
- б) плановірності (виконується за планом, складеному відповідно до задачі спостереження);
- в) цілеспрямованості (спостерігаються лише певні сторони явища, які викликають інтерес в ході дослідження);
- г) активності (спостерігач активно шукає необхідні об'єкти, сторони явища);
- д) систематичності (спостереження ведеться безперервно або по певній системі).

Спостереження, як метод пізнання, дає можливість отримати первинну інформацію у виді сукупності емпіричних тверджень. Емпірична сукупність створює первинну схематизацію об'єктів реальності - вихідних об'єктів дослідження.

Порівняння - це процес встановлення подібності або відмінності предметів і явищ дійсності, а також знаходження загального, властивого двом або декільком об'єктам.

Метод порівняння повинен відповідати наступним умовам:

- а) можуть порівнюватися лише такі явища, між якими можлива деяка об'єктивна спільність;
- б) порівняння необхідно виконувати по найбільш важливих, засадничих (у плані конкретної задачі) властивостях.

Різні об'єкти можуть порівнюватися безпосередньо або через їх порівняння із деяким іншим об'єктом (еталоном). При цьому в першому випадку отримують якісні результати (більше-менше, вище-нижче). Порівняння з еталоном дозволяє отримувати кількісні характеристики. Такі порівняння називають вимірами.

Вимір - це визначення чисельного значення деякої величини за допомогою одиниць виміру. Вимір передбачає наявність наступних основних елементів: об'єкту виміру, еталону, вимірювальних пристроїв, методу виміру.

Вимір розвинувся з операції порівняння, проте це більш потужніший і універсальний пізнавальний засіб.

Виміри дають досить точні, кількісно визначені описи властивостей тіл, суттєво розширюючи пізнання. В результаті високоякісних вимірів можуть бути

встановлені факти і зроблені емпіричні відкриття, що ведуть до корінної зміни поглядів в певній області. Оскільки виміри за допомогою приладів і інструментів не можуть бути абсолютно точними, то в ході їх велике значення приділяється оцінюванню похибки вимірів.

Для точних наук характерним є органічний зв'язок спостережень і експериментів із знаходженням числових значень характеристик досліджуваних об'єктів.

У теплоенергетичних дослідженнях питання виміру займають первинне місце.

Експеримент - система операцій, дій і спостережень, направлених на здобуття інформації про об'єкт при дослідницьких випробуваннях. Це такий метод дослідження об'єкту, за допомогою якого дослідник активно і цілеспрямовано впливає на нього за допомогою створення штучних умов або використання природних умов, необхідних для виявлення відповідної властивості.

Експеримент використовується на завершальній стадії дослідження і є критерієм істинності теорій і гіпотез. З іншого боку, експеримент у багатьох випадках є джерелом нових теоретичних вистав, що розвиваються на основі даних проведеного досвіду або законів, наступних з експерименту.

Експеримент включає виділення об'єкту дослідження, створення необхідних умов для його виконання, активну дію на об'єкт дослідження, процеси спостереження і виміру.

Переваги експериментального дослідження об'єкту в порівнянні із спостереженням наступні:

- а) в процесі експерименту можна вивчати явище «в чистому вигляді», звільнившись від побічних чинників, які затінюють основний процес;
- б) у експериментальних умовах можна досліджувати властивості об'єкту;
- в) повторюваність експерименту: можна проводити досліди стільки раз, скільки необхідно.

Експеримент проводять в наступних випадках:

- при спробі виявлення раніше невідомих властивостей об'єкту;
- при перевірці правильності теоретичних побудов;
- при демонстрації явища.

У дослідженні експеримент і теорія тісно взаємопов'язані. Ігнорування експерименту обов'язково приводить до помилок, тому всебічний розвиток експериментальних досліджень є одним з найбільш важливих шляхів розвитку сучасної науки.

Експерименти можуть бути натуральними і модельними. Натуральний експеримент вивчає явище і об'єкти в їх природному стані, модельний - моделює ці процеси, дозволяє вивчати ширший діапазон зміни визначальних чинників.

Методи теоретичного рівня дослідження.

Ідеалізація - це уявне створення об'єктів і умов, які не існують насправді і не можуть бути створені практично. Вона дає можливість позбавити реальні об'єкти деяких властивих ним властивостей або в думках наділити їх нереальними, гіпотетичними властивостями, дозволяючи отримати рішення задачі в кінцевому вигляді (ідеальний газ, абсолютно чорне тіло).

Ідеалізація досягається уявним переходом до граничного випадку в розвитку деякої властивості. Будь-яка ідеалізація правомірна лише в певних межах.

Формалізація - це метод вивчення різних об'єктів, при якому основні закономірності процесів відображаються в знаковій формі, за допомогою формул або спеціальних символів. Формалізація забезпечує узагальненість підходу до рішення різних завдань, дозволяє формувати знакові моделі предметів, встановлювати закономірності між фактами, що вивчаються.

Гіпотеза - науково обґрунтована система висновків, за допомогою якої на основі ряду фактів робиться висновок про існування об'єкту, зв'язку або причини явища. Гіпотеза є формою переходу від фактів до законів.

Найбільш високою формою узагальнення і систематизації знань є *теорія*. Під теорією розуміють вчення про узагальнений досвід, практику, що формулює наукові принципи і методи, які дозволяють узагальнити, пізнати існуючі процеси і явища, проаналізувати дію на них різних чинників і запропонувати рекомендації по використанню їх в практичній діяльності людей.

До нових теорій пред'являється декілька основних вимог. Теорія має бути адекватною описуваному об'єкту або явищу, тобто повинна правильно їх відтворювати, що дозволяє в певних межах замінити експериментальні дослідження теоретичними.

Законом називається теорія, що володіє великою надійністю і підтверджена багаточисельними експериментами. Закон виражає загальні стосунки і зв'язки, які характерні для всіх явищ даного роду, класу.

Методи, які використовуються на емпіричному і теоретичному дослідженнях.

Абстрагування - це уявний відхід від незначних властивостей, зв'язків, стосунків предметів і виділення деяких властивостей, які цікавлять дослідника.

Процес абстрагування має два ступені. Перша - виділення найбільш важливого в явищах і встановлення факту незалежності, або дуже незначної залежності, досліджуваних явищ, яку можна не враховувати, від деяких чинників. Друга ступінь - реалізація можливостей абстрагування. Єство його полягає в тому, що один об'єкт замінюється іншим, простішим, який виступає як модель першого. Абстрагування дає можливість замінити в пізнанні складне простим, проте таким простим, яке відображає основне в цьому складному.

Аналіз - метод пізнання, який дає можливість розділяти предмети дослідження на складові частини (природні елементи об'єкту або його властивості і відношення) і виділяти його окремі властивості і зв'язки.

Синтез - навпаки, передбачає об'єднання окремих частин або властивостей предмету в єдине ціле.

Аналіз і синтез взаємозв'язані, вони є єдністю протилежностей.

Дедукція - метод переходу від загальних положень до приватних, здобуття з відомих істин нових істин з використанням законів і правил логіки. *Дедуктивною* називають таку конструкцію, в якій висновок по деякому елементу безлічі робиться на підставі знання загальних властивостей всієї безлічі. Вмістом дедукції як методу пізнання є використання загальних наукових положень при дослідженні конкретних явищ.

Як приклад дедукції розглянемо диференційне рівняння теплопровідності, яке за відсутності внутрішніх джерел теплоти і постійних теплофізичних властивостях середовища має наступний вигляд

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right).$$

З цього рівняння можуть бути отримані приватні, наприклад, для стаціонарного режиму і одновимірної задачі рівняння теплопровідності набирає вигляду

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = 0.$$

Під *індукцією* розуміють перехід від приватного до загального, коли на підставі знань, що стосуються частини предметів класу робиться висновок відносно класу в цілому. Дедукція і індукція є взаємно протилежними методами пізнання.

Вибір методу дослідження - один з важливих етапів дослідження. У дослідженнях, характерних для теплоенергетики, використовуються математичне (теоретичний метод) і фізичне (експеримент) моделювання, а також поєднання теоретичного і експериментального методів дослідження.

1.5 Методи теоретичних досліджень

Моделювання - метод, який базується на використанні моделі, як способу дослідження. Існує безліч методів, моделювання (предметне, аналогове, знакове та ін.).

Під моделями розуміють системи, які замінюють об'єкт пізнання і служать джерелом інформації відносно його, а також відтворюють головні особливості оригіналу. Найбільший інтерес при вивченні теплових процесів і установок представляють фізичні і математичні моделі.

Стандартних рекомендацій по вибору і побудові моделей не існує. Модель повинна відображати істотні явища процесу. Дрібні чинники, зайва деталізація, другорядні явища лише ускладнюють модель, ускладнюють теоретичні дослідження, роблять їх громіздкими, нецілеспрямованими. Тому модель має бути оптимальною по складності, бажано наочною, але головне - досить адекватною, тобто враховувати закономірності явища, що вивчається, з необхідною точністю.

При *фізичному моделюванні* модель і оригінал мають однакову фізичну природу; будь-яка експериментальна установка є фізичною моделлю деякого процесу.

Фізичне моделювання відноситься до наочного моделювання, вживання якого засноване на використанні моделей, відтворюючих основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні характеристики оригінала. У основі фізичного моделювання лежать теорія подібності і метод аналізу розмірності. Необхідними умовами фізичного моделювання є геометрична і фізична подібність моделі і оригінала. У подібні моменти часу і в подібних точках простору значення змінних величин, що характеризують оригінал, мають бути пропорційні значенням тих же величин для моделі. Наявність такої пропорційності дозволяє виконувати перерахунок експериментальних результатів, що отримуються для моделі, на оригіналах шляхом множення кожної з певних величин даної розмірності на коефіцієнт подібності.

Виходячи із законів і рівнянь фізики відомо, що ряд основних показників, що характеризують той або інший процес або явище, суворо пов'язані певним чином. Якщо на їх основі можливо отримати комбінації безрозмірних величин, то вони повинні мати одне і те ж значення і для моделі, і для оригінала. Ці безрозмірні комбінації фізичних величин називаються критеріями подібності. Рівність всіх критеріїв подібності для моделі і оригінала є необхідною умовою фізичного моделювання.

Фізичне моделювання, розроблене на основі теорії подібності, дозволяє не лише встановити вплив груп параметрів на протікання теплових процесів, але і перенос закономірності, отриманої на моделях, на промислові установки.

Математична модель - це сукупність рівнянь - диференціальних, інтегральних, алгебраїчних. Математичне моделювання набуває особливої цінності, коли виникає необхідність вивчити особливо складні процеси.

При *математичному моделюванні* модель і оригінал можуть мати однакову і різну фізичну природу. У першому випадку деякий процес досліджуються на основі його математичної моделі, що є системою рівнянь з їх відповідними умовами однозначності; у другому - використовують факт однакового по зовнішній формі математичного опису явищ різної фізичної природи.

Математичні моделі дозволяють кількісно досліджувати явища, що важко піддаються вивченню на фізичних моделях.

Математичне моделювання - один з видів знакового моделювання, яке забезпечує наближений опис явищ (процесів) за допомогою математичної символіки. Математичне моделювання - один із способів вивчення, прогнозування і управління вивчаємих процесів або явищ.

Математичне моделювання включає чотири етапи:

- 1) формулювання законів, що пов'язують основні об'єкти моделі;
- 2) дослідження математичних завдань, до яких наводить математичне моделювання;
- 3) перевірку узгодженості результатів спостережень з даними, отриманими на моделях;
- 4) аналіз моделі у зв'язку з накопиченням нових даних і модернізацією моделі.

Метод математичного моделювання, що зводить дослідження явищ зовнішнього світу до математичних завдань, займає провідне місце серед інших методів дослідження, особливо у зв'язку із вживанням ЕОМ. Математичні моделі є важливим елементом автоматизованих систем управління.

Математична модель для ЕОМ є програмою, тобто закодовану на машинній мові систему правил, слідуючи яким машина може відтворити хід модельованого процесу.

Вживання математичних моделей можна розглядати як деякі розумові експерименти, виконання яких особливо зручно із застосуванням ЕОМ.

Програючи програму, отримують цифрову інформацію про поведінку оригінала в певних умовах, про його функціональні зв'язки із довкіллям.

Математичне моделювання дозволяє охопити ряд параметрів, що впливають на хід процесу, встановити їх вплив, виконати оптимізацію окремих параметрів. Математичні моделі у виді рівнянь регресії дозволяють оперативно визначати кінцеві показники процесу (наприклад, тривалість теплової обробки) або властивості матеріалу, що піддається обробці з врахуванням проміжних технологічних параметрів, що входять в модель (t , v , W і т.д.).

Математичне моделювання дозволяє широко використовувати обчислювальну техніку, що, у свою чергу, забезпечує оперативне здобуття інформації, скорочує час виконання експериментів.

Аналіз як математичних моделей, так і критерійних рівнянь, отриманих в результаті фізичного моделювання, дозволяє отримати додаткові дані, не встановлені в явному вигляді при проведенні експерименту, оптимізувати значення окремих параметрів, провести імітацію процесу без виконання експерименту. Наприклад, через диференціювання отриманої залежності знайти екстремальне її значення - максимум або мінімум потрібного параметра.

Відповідність отриманій залежності реальному процесу дозволяє її рекомендувати при вирішенні завдань, пов'язаних розробкою промислових установок і оцінці ефективності організації виробничих процесів. Неадекватне

віддзеркалення отриманими залежностями реальних процесів вимагає корегування спочатку поставленої задачі і повторення експерименту.

Натуральні моделі є масштабно змінними об'єктами, що дозволяють якнайповніше досліджувати процеси, що протікають в натуральних умовах.

Вивчити і проаналізувати об'єкт якнайповніше можна за умови, що його модель представлена описом фізичного єства і має математичний вигляд.

Аналіз різноманітних фізичних моделей процесів, що вивчаються, досліджується математичними методами, які можуть бути розділені на наступні основні групи:

Аналітичні методи дослідження (елементарна математика, диференціальні і інтегральні рівняння, варіаційне числення та інші розділи вищої математики), використовуються для вивчення безперервних, детермінованих процесів.

Методи математичного аналізу з використанням експерименту (метод аналогій, теорія подібності, метод розмірності).

Ймовірно-статистичні методи (математична статистика, дисперсійний і кореляційні аналізи, теорія надійності), використовуються для вивчення випадкових процесів, - дискретних і безперервних.

Методи системного аналізу (дослідження операцій, теорія управління, теорія безлічі). Вони застосовуються для дослідження складних моделей - систем з багатообразними і складними взаємозв'язками елементів, що характеризуються безперервністю і детермінованістю, а також дискретністю і випадковістю.

У технічних науках широко застосовують прикладну математику, яка використовує так звані раціональні методи, що допускають наявність формулювань і тверджень, справедливі лише в даних реальних умовах. При цьому вони можуть уточнюватися в ході дослідження, базуватися на аргументах, заснованих на наближених рішеннях, аналогіях або експериментах.

1.6 Аналітичні методи дослідження

За допомогою аналітичних методів встановлюють математичну залежність між параметрами об'єкту, що вивчається. Ці методи дозволяють глибоко і всебічно вивчити досліджувані процеси, встановити точні кількісні зв'язки між аргументами і функціями, глибоко проаналізувати досліджувані явища.

Залежно від особливостей процесу, застосовують той або інший вид рівнянь для його опису:

1. При описі простих процесів або прагненні спростити досліджувану модель використовують елементарні функції і рівняння:

- лінійні (наприклад, при дослідженні шаруватих матеріалів);
- при дослідженні процесів, що протікають за принципом ланцюгового механізму (наприклад, розчинення, перемішування, охолодження і так далі) використовують експоненціальні, параболічні, показові функції;

- при вивченні коливальних процесів застосовують тригонометричні функції.

2. При аналізі форм і розмірів інженерних конструкцій користуються методами елементарної, аналітичної або накреслювальної геометрії.

3. Звичайні диференціальні рівняння використовують для теоретичного аналізу різних моделей простих і середніх по складності процесів.

Рівняння 1-го порядку мають вигляд

$$\frac{dy}{dx} = f(x, y)$$

Рівняння вищих порядків

$$\frac{d^n y}{dx^n} = f(x, y)$$

Загальні вирішення таких рівнянь представляє сімейство кривих на площині. Для знаходження приватного рішення вказують початкові умови - значення функції f в деяких відомих точках x і y .

4. Великого поширення при вирішенні прикладних завдань набули диференціальні рівняння в приватних похідних. У них шукані рішення є функціями декількох незалежних змінних.

Наприклад, для аналізу теплового балансу тіла при його нагріванні або охолодженні використовують наступне рівняння

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right)$$

Будь-які диференціальні рівняння є моделлю цілого класу явищ, тобто сукупності явищ, що характеризуються однаковими процесами. При інтеграції рівнянь отримують безліч рішень, що задовольняють вихідному диференціальному рівнянню. Аби отримати з безлічі рішень одне, що задовольняє лише даному процесу, необхідно задати додаткові умови. Вони повинні чітко виділяти явище зі всього класу явищ.

Умови, які характеризують всі особливості даного процесу, називаються умовами однозначності і характеризуються наступними ознаками:

- 1) геометрією системи (форма і розміри тіла);
 - 2) фізичними властивостями тіла;
 - 3) початковими умовами, тобто станом системи в початковий момент;
 - 4) граничними умовами, тобто взаємодією системи на кордонах з довкіллям.
- Початкові і граничні умови називаються крайовими.

Задачі математичної фізики, у тому числі задачі тепломасообміну, ефективно вирішуються методами операційного перетворення Лапласа, Фур'є, Бесселя. Суть операційного перетворення полягає в перекладі функції $f(t)$ змінної t , званою початковою або оригіналом, у функцію іншої змінної p , звану зображенням. При цьому вивчають не саму функцію (оригінал), а її змінене значення (зображення).

Перетворення здійснюється шляхом множення початкової функції на іншу і її інтегрування.

Використання функції зображення $f^*(p)$ дозволяє складні операції диференціювання і інтегрування $f(t)$ замінити простими операціями алгебри з $f^*(p)$, після чого виробляють зворотний перехід до $f(t)$.

Вживання таких перетворень має ряд переваг - простота, можливість вирішення завдань з різними крайовими умовами. Проте спроби вирішення нелінійних завдань із складними крайовими умовами за допомогою точних аналітичних методів зустрічають значні труднощі.

Одним з методів вирішення інтегральних рівнянь є метод послідовних наближень. Вживання знайшов також варіаційний метод.

Проте перераховані вище аналітичні методи дозволяють успішно вирішувати лише відносно прості задачі.

При необхідності вирішення складних диференціальних рівнянь або їх систем з нелінійними початковими і граничними умовами вдаються до тих або інших наближених обчислень за допомогою чисельних методів.

Ідея чисельних методів (методи кінцевих різниць або сіток) полягає в наступному:

1. У плоскій області G , в якій розшукують рішення, будують сіткову область G_h , що складається з однакових вічок і наближається до G .
2. Задане диференціальне рівняння замінюють у вузлах побудованої сітки відповідним кінцево-різницевою рівнянням.
3. На підставі граничних умов встановлюють значення шуканого рішення в граничних вузлах області G_h .

Аби вирішити отриману систему кінцево-різницевих рівнянь, необхідно отримати рішення алгебраїчної системи з великим числом невідомих. В результаті знаходиться значення шуканої функції у вузлах сітки, тобто чисельне значення поставленої задачі. Вибір сіткової області виробляється залежно від конкретної задачі, але у всіх випадках контур сіткової області G_h слід вибирати так, щоб він можливо краще апроксимував контур заданої області G .

1.7 Аналітичні методи досліджень з використанням експериментів

Фізичні процеси можна досліджувати за допомогою *аналітичних* і *експериментальних* методів.

Аналітичні методи дозволяють вивчати процеси на основі математичних моделей, які містять велику кількість інформації і, як система рівнянь, дозволяють описувати елементарні фізичні процеси, з яких складається явище. Проте, використання математичних моделей супроводжується рядом складнощів. Для того, щоб зі всього класу знайти приватне рішення, властиве даному процесу, необхідно задати умови однозначності. Встановлення крайових умов вимагає проведення достовірних дослідів і ретельного аналізу експериментальних даних. Неправильне прийняття крайових умов наводить до того, що піддається теоретичному аналізу не той процес, який планується, а видозмінений. Крім того, в деяких випадках відшукати аналітичне вираження з врахуванням умов однозначності, що найреальніше відображають фізичне єство процесу, що вивчається, або взагалі неможливо, або надзвичайно скрутно. З іншого боку, спрощення вихідних диференціальних рівнянь може привести до спотворення фізичного єства процесу.

Експериментальні методи дозволяють глибоко вивчити процеси в межах точності техніки експерименту і сконцентрувати увагу на тих параметрах процесу, які представляють найбільший інтерес. Проте результати конкретного експерименту не можуть бути поширені на інший процес, навіть близький по фізичній суті, оскільки результати будь-якого експерименту відображають індивідуальні особливості лише досліджуваного процесу. З досвіду неможливо остаточно встановити, які з параметрів роблять вирішальний вплив на хід процесу, і як протікатиме процес, якщо змінювати різні параметри одночасно. Оскільки кожен конкретний процес досліджується в даному випадку самотійно, то, кінець кінцем, експериментальні методи дозволяють встановити приватні залежності між окремими змінними в строго певних інтервалах їх зміни. Аналіз змінних характеристик за межами цих інтервалів може привести до спотворення залежності, грубих помилок.

Таким чином, і аналітичні і експериментальні методи мають свої переваги і недоліки, які часто ускладнюють ефективне вирішення практичних завдань. Виходом з ситуації, що склалася, є об'єднання позитивних сторін аналітичних і експериментальних методів.

Явища, процеси вивчаються не ізольовано один від одного, а комплексно. Різні об'єкти з їх специфічними змінними величинами об'єднуються в комплекси, що характеризуються загальними законами. Це дозволяє розповсюдити аналіз одного явища на інші або цілий клас аналогічних явищ. При такому принципі досліджень зменшується кількість змінних величин, вони замінюються узагальненими критеріями. В результаті спрощується шукане математичне вираження. На цьому принципі засновані методи поєднання аналітичних і експериментальних досліджень з методами аналогій, подібності, розмірності, методів моделювання.

Метод аналогій можна використовувати, якщо існують процеси з різною фізичною природою, які мають ідентичне математичне вираження. Залежно від того, що береться за оригінал, а що за модель, можуть бути різні види моделювання. Так, якщо тепловий потік вивчають на моделі з рухом рідини, то моделювання називають гідравлічним, якщо тепловий потік досліджують на електричній моделі, моделювання називають електричним. Моделювання може бути акустичним, механічним та ін. Доцільність вибору виду моделювання залежить від складності процесу, що вивчається, і моделі, її вартості і експлуатації, можливості постановки експериментів, точності результатів.

Ідентичність математичних виразів процесів оригінала і моделі не є ознакою того, що процеси абсолютно аналогічні. Для того, щоб на моделі максимально моделювати процес оригінала, що вивчається, необхідно дотримувати критерій аналогій. Для порівнянності рівнянь, що описують різні фізичні процеси, їх необхідно представити в безрозмірних величинах: кожную змінну величину P_n представити у виді добутку постійної розмірності на змінну безрозмірну P_6

$$P = P_n \cdot P_6.$$

За допомогою критерію аналогій встановлюють параметри моделі по вихідному рівнянню об'єкту. Кількість критеріїв аналогій на одиницю менше числа членів вихідного виразу, що вивчається. Оскільки число невідомих більше числа рівнянь, то деякими параметрами моделі задаються. Звичайно це час спостереження або протікання процесу на моделі, який має бути зручним для спостереження.

Теорія подібності - це вчення про подібність явищ. Вона найбільш ефективна у тому випадку, коли на основі вирішення диференціальних рівнянь залежності між змінними відшукати неможливо. Тоді необхідно виконати попередній експеримент і, скориставшись його даними, скласти із застосуванням методу подібності рівняння (або систему рівнянь), вирішення якого можна розповсюдити за межі кордонів експерименту. Цей метод теоретичного дослідження явищ і процесів можливий лише на основі комбінування з експериментальними даними.

Критерії подібності створюють усередині даного класу явищ групи шляхом перетворень умов однозначності в подібні системи. Всі явища, що входять до однієї групи, подібні і відрізняються лише масштабами. Таким чином, будь-яке диференціальне рівняння характерне для класу подібних явищ. Це ж рівняння з граничними умовами і критеріями подібності характерне лише для групи подібних явищ. Якщо граничні умови представлені без критерію подібності, то диференціальне рівняння можна застосувати для аналізу лише окремого випадку.

Теорія подібності базується на трьох теоремах.

Теорема 1. (М.В. Кирпічева і А.А. Гухмана). Два фізичні явища подібні, якщо вони описуються однією і тією ж системою диференціальних рівнянь і мають подібні (граничні) умови однозначності, і їх визначальні критерії подібності - чисельно рівні.

Теорема 2. Якщо фізичні процеси подібні, то критерії подібності цих процесів рівні між собою.

Теорема 3. Рівняння, що описують фізичні процеси, можуть бути виражені диференціальним зв'язком між критеріями подібності.

У групі подібних між собою явищ, що відрізняються лише масштабом, можна поширювати результати одиничного експерименту. Найчастіше критерії подібності позначають двома латинськими буквами прізвищ учених.

При дослідженні явищ і процесів експериментальні дані обробляються у вигляді узагальнених безрозмірних змінних і складають рівняння в критерійній формі, тобто в диференціальні рівняння замість розмірних величин ставлять критерії подібності. Далі приступають до вирішення теоретичного рівняння в критерійній формі. Отримане аналітичне рішення дозволяє розповсюдити результати одиничного досвіду на групу подібних явищ і аналізувати змінні величини за межами експерименту. Вирішення рівняння в безрозмірному вигляді є менш трудомістким, оскільки число змінних зменшується, аналіз аналітичних виразів спрощується, а об'єм розрахунків істотно знижується. Тому вміння складати диференціальні рівняння в критерійній формі представляє великий інтерес.

1.8 Ймовірно-статистичні методи досліджень

Ймовірно-статистичні методи досліджень застосовують, коли необхідно досліджувати не детерміновані, а випадкові ймовірнісні (стохастичні) процеси, в яких кожному аргументу відповідає безліч значень функції.

Не дивлячись на випадковий характер подій, вони підкоряються певним закономірностям, що розглядаються в теорії вірогідності. *Теорія вірогідності* є математичним віддзеркаленням законів, вивчає випадкові події і базується на наступних основних показниках:

Під *сукупністю* розуміють безліч однорідних подій. Сукупність випадкової величини x складає первинний статистичний матеріал. Розрізняють генеральну і вибірку сукупність.

Вірогідністю $P(x)$ події x називають відношення числа випадків $N(x)$, які наводять до настання події x до загального числа можливих випадків N

$$P(x)=N(x)/N.$$

Вірогідність випадкової величини (події) - це кількісна оцінка можливості її появи. Достовірна подія має вірогідність $P=1$, неможлива подія - $P=0$. Для випадкової події $0 < P(x) < 1$, а сума вірогідності всіх можливих значень $\sum_0^n P_i = 1$.

Теорія вірогідності розглядає теоретичні розподіли випадкових величин і їх характеристики. Математична статистика займається способами обробки і аналізу експериментальних подій.

Частота подій - відношення числа випадків, при яких мала місце подія, до загального числа подій

$$\bar{y}(x) = n(x) / n .$$

Основною характеристикою емпіричного розподілу є середньоарифметичне значення

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i .$$

Розмах можна використовувати для орієнтовної оцінки варіації ряду подій

$$R = x_{\max} - x_{\min} ,$$

де $x_{\max}$, $x_{\min}$ - відповідно максимальне і мінімальне значення виміряної величини або похибки.

Математичне очікування

$$m(x) = \sum_1^n x_i \cdot P_i .$$

Для безперервних випадкових величин математичне очікування рівне

$$m(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x \cdot P(x) dx ,$$

тобто воно дорівнює дійсному значенню x_d спостережуваних подій.

Таким чином, якщо систематичні похибки вимірів повністю виключені, то дійсне значення вимірюваної величини дорівнює математичному очікуванню.

Дисперсія характеризує розсіювання випадкової величини по відношенню до математичного очікування й обчислюється

$$D = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2 \text{ або } S^2.$$

Середньоквадратичне відхилення або стандарт

$$\sigma(x) = \sqrt{D(x)} \text{ або } S.$$

Коефіцієнт варіації $K_g = \sigma / m(x)$ застосовується для порівняння інтенсивності розсіювання в різних сукупностях, визначається у відносних одиницях: $K_g < 1$.

Вище були розглянуті основні характеристики теоретичної кривої розподілу, які аналізує теорія вірогідності.

У статистиці оперують емпіричними розподілами. Основною задачею статистики є підбір теоретичних кривих по наявному емпіричному закону розподілу.

1.9 Методи системного аналізу

Під *системним аналізом* розуміють сукупність прийомів і методів для вивчення складних об'єктів - систем, що є складною сукупністю елементів, що взаємодіють між собою. Взаємодія елементів системи характеризується прямими і зворотними зв'язками. Сутність системного аналізу полягає в тому, аби виявити ці зв'язки і встановити їх вплив на поведінку всієї системи в цілому.

Системний аналіз складається з чотирьох етапів:

1 етап полягає в постановці завдань: визначають об'єкт, цілі і задачі дослідження, а також критерії для вивчення об'єкту і управління ним.

2 етап визначає кордони системи, що вивчається, і її структуру.

3 етап (найважливіший) полягає в складанні математичної моделі досліджуваної системи. Залежно від особливостей процесів використовують ті або інші методи дослідження.

4 етап, в якому аналізують отриману математичну модель, знаходять її екстремальні умови в цілях оптимізації процесу і управління системою і формують висновки.

1.10 Методологія експерименту

Експериментальні дослідження - один з основних засобів отримати нові наукові знання. У його основі лежить експеримент або спостереження явища в умовах, що точно враховуються, дозволяючи стежити за його ходом, управляти їм, відтворювати його кожного разу при повторенні цих умов.

Основна мета експерименту - перевірка теоретичних положень (підтвердження робочої гіпотези), а також ширше вивчення теми дослідження.

Розрізняють експерименти *природні* і *штучні*. *Природні* експерименти проводять у виробничих умовах. *Штучний* експеримент широко застосовується в багатьох галузях і в першу чергу в технічних науках. В цьому випадку вивчають явище, ізольоване до необхідної міри, аби оцінити його в кількісному і якісному відношенні.

Експериментальні дослідження діляться на *лабораторні* і *виробничі*.

Лабораторні дослідження проводять із застосуванням типових приладів, спеціальних моделюючих установок, стендів, устаткування і т.д.

Виробничі експериментальні дослідження мають на меті вивчити процес в реальних умовах із врахуванням дії різних випадкових чинників виробничого середовища.

Методологія експерименту - це загальні принципи, структура експерименту, його постановка і послідовність виконання експериментальних досліджень.

Основні етапи методології експерименту: розробка плану-програми експерименту; оцінка вимірів і вибір засобів для проведення експерименту; проведення експерименту; обробка і аналіз експериментальних даних, встановлення адекватності.

1.11 Розробка плану-програми експерименту

План-програма включає найменування теми дослідження, робочу гіпотезу, методику експерименту, перелік необхідних матеріалів, приладів, установок, список виконавців експерименту, календарний план робіт і змету на виконання експерименту.

Методика є системою прийомів або засобів для послідовного найбільш ефективного експериментального дослідження і включає: мету і задачі експерименту, вибір варіюючих чинників, обґрунтування засобів і необхідної кількості вимірів, опис проведення експерименту, обґрунтування засобів обробки і аналізу результатів експерименту.

Вибір варіюючих чинників - це встановлення основних і другорядних характеристик, що впливають на досліджуваний процес. Основним принципом встановлення міри важливості характеристики є її роль в досліджуваному процесі.

Обґрунтування засобів виміру - це вибір необхідних для спостережень і вимірів приладів, устаткування, апаратів і т.д. Відповідальною частиною є встановлення точності вимірів і похибок.

У зв'язку з тим, що існує велика кількість чинників, що впливають на точність вимірів (наприклад, неоднорідність властивостей тіла, що вивчається, недосконалість приладів, суб'єктивні особливості експериментатора), необхідним

є повторення вимірів, що вимагає визначення мінімальної необхідної кількості вимірів.

Під *мінімальною необхідною кількістю* розуміють таку кількість вимірів, яка в даному досвіді забезпечує стійке середнє значення вимірюваної величини, що задовольняє заданій мірі точності.

У методиці детально проектується процес проведення експерименту:

- складають послідовність проведення операцій спостережень і вимірів;
- описують кожну операцію окремо з врахуванням вибраних засобів для проведення експерименту.

Особлива увага в методиці має бути приділена математичним методам обробки і аналізу дослідних даних - встановленню емпіричних залежностей, апроксимації зв'язків між варійованими характеристиками, знаходженню критеріїв. Далі визначають об'єм і трудомісткість експериментальних досліджень, які залежать від глибини теоретичних розробок таким чином, - чим чітко сформульована теоретична частина дослідження - тим менше об'єм експериментів.

Можливі три випадки проведення експерименту:

1. Теоретично отримана аналітична залежність, яка однозначно визначає досліджуваний процес. Об'єм експерименту для підтвердження даної залежності мінімальний.

2. Теоретичним шляхом встановлений лише характер залежності у вигляді сімейства кривих. В цьому випадку об'єм експериментальних робіт зростає і направлений на здобуття констант, що виділяють даний процес з класу.

3. Теоретично не вдалося отримати яких-небудь залежностей. Розроблені лише припущення про якісні закономірності процесу. Об'єм експериментальних робіт зростає. Доцільний пошуковий експеримент.

1.12 Фізичний експеримент в теплоенергетиці

Фізичне моделювання є вивченням фізичних явищ (процесів) в натуральних умовах або на модельних установках в цілях оцінки їх в кількісних і якісних стосунках.

Фізична модель, що визначає основні закономірності, керівники даним процесом, дозволяє перейти до формування математичної моделі явища, не є абсолютною і безперервно удосконалюється.

Фізичний експеримент може бути натурним і модельним. Модельний експеримент здійснюється на модельних пристроях, виконаних в збільшених або зменшених в порівнянні з розмірами об'єкту масштабах. Він дозволяє якнайповніше вивчити фізичне явище, створити його в чистому вигляді за відсутності впливу сторонніх чинників. У теплоенергетиці і, особливо в теплофізиці, модельний експеримент часто використовується для вивчення

тепломасообмінних і гідродинамічних процесів в елементах енергетичних машин і установок, теплотехнічного устаткування.

Натурний експеримент дає можливість вивчати фізичні процеси в умовах їх протікання в конкретних технічних пристроях з врахуванням спільної дії декількох чинників. У теплоенергетиці він використовується при монтажі і експлуатації теплових електростанцій, при вивченні режимів роботи парових і газових турбін, котельних агрегатів, при випробуваннях тепловикористовуючого і теплогенеруючого устаткування промислових підприємств.

1.13 Моделювання фізичних явищ і технічного устаткування

Моделний експеримент здійснюється на експериментальних пристроях з певним робочим тілом і конкретними геометричними розмірами. Для того, щоб отримані результати були загальними і придатними для опису таких же явищ в геометрично подібних системах, з робочим тілом іншої фізичної природи, вони мають бути представлені на основі теорії подібності фізичних явищ.

Технічне моделювання - різновид експериментального дослідження, направлене на вивчення гідродинамічних, теплових і інших важливих характеристик окремого пристрою або його елементів на установці, виконаній у відповідному масштабі. Теоретичною основою технічного моделювання також служить теорія подібності.

Подібність фізичних явищ може бути *повною* і *частковою*. У першому випадку подібність зберігається в усіх точках моделі і натури. У другому випадку подібність виконується лише відносно деяких властивостей середовища і здійснюється по одному з критеріїв, найбільш істотному для даного явища.

В окремих випадках використовується *місцеве моделювання*, при якому подібність зберігається лише для окремих, найбільш важливих для дослідження ділянок або елементів об'єкту.

Суворе дотримання всіх умов подібності, особливо в неізотермічних умовах, представляє великі труднощі. Тому широкого поширення набули методи наближеного моделювання при середній температурі процесу.

Приклад.

У ізотермічному потоці з переважанням вимушеного руху для виконання кінематичної подібності мають бути однакові числа Рейнольдса для моделі і натури:

$$\frac{\omega_m \cdot l_m}{\nu_m} = \frac{\omega_n \cdot l_n}{\nu_n} ,$$

де індекси «м» і «н» відносяться до моделі і натури.

В цьому випадку є можливість варіювати три параметри - швидкість, лінійний розмір і коефіцієнт кінематичної в'язкості. Наприклад, при використанні в моделі і натурі однакового робочого тіла ($\nu_m = \nu_n$), виготовлення моделі меншого масштабу ($l_m < l_n$) наводить до необхідності вживання вищих швидкостей ($\omega_m > \omega_n$). При однакових геометричних розмірах моделі і натурі ($l_m = l_n$) і використанні в модельній установці менш в'язкої рідини ($\nu_m < \nu_n$), чим в натурі, швидкість потоку на моделі має бути нижче, ніж в натуральних умовах.

Питання для самоперевірки:

1. Розкрийте сутність поняття «дослідження».
2. Для чого потрібно складати техніко-економічне обґрунтування?
3. Назвіть переваги експериментального дослідження в порівнянні із спостереженням та в яких випадках застосовують експеримент.
4. Які питання дозволяє вирішити математичне моделювання?
5. Якими ознаками характеризуються умови однозначності?
6. В якому випадку найбільш ефективним є використання теорії подібності?
7. У чому полягає сутність системного аналізу?
8. Яка основна мета експерименту? У чому полягає різниця між лабораторним та виробничим експериментом?
9. Що включає в себе методика експерименту?
10. Поясніть поняття «технічне моделювання».

Практичне завдання:

Скласти план-програму експерименту.

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ

План:

- 2.1 Дослідження властивостей матеріалів
- 2.2 Методи визначення теплоємності матеріалу
- 2.3 Методи визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалу
- 2.4 Особливості дослідження теплофізичних характеристик пористих матеріалів

Мета вивчення розділу: формування уявлення щодо сутності та основних завдань дослідження теплофізичних характеристик матеріалів, ознайомлення із основними методами визначення теплоємності та коефіцієнта теплопровідності матеріалу, особливості дослідження теплофізичних характеристик пористих матеріалів.

Ключові поняття: теплоємність пористих матеріалів, коефіцієнт теплопровідності матеріалу, вологість, опір промерзанню, пористість, метод безпосереднього нагріву.

2.1 Дослідження властивостей матеріалів

За своїми властивостями матеріали значно різняться. Першим типом властивостей є фізичні властивості, до яких можна віднести: повну об'ємну вагу, фактичну питому вагу, щільність і його можливу пористість. Саме від цих властивостей залежить співвідношення того чи іншого будівельного матеріалу і його приналежність до окремих типів будівництва.

До другого типу властивостей відносяться ті властивості, які визначають вплив вологи на сам матеріал і можливі наслідки при замерзанні даної вологи. До таких властивостей відносяться: поглинання вологи, початкова вологість, а також віддача цієї вологості в навколишнє середовище, стійкість до поглинання вологи і опір промерзання.

Третім типом властивостей вважаються механічні властивості, такі, як знос, міцність і щільність.

До четвертого типу властивостей можна віднести всі ті властивості будівельного матеріалу, які пов'язані з тепловою дією.

Питома вага - це загальна вага окремого будівельного матеріалу, який позначається в об'ємній одиниці. При цьому стан самого матеріалу має бути максимально щільним, виключаючи будь-які пори. Відповідно об'ємна вага - це загальна вага матеріалу в даному його стані, враховуючи будь-який рівень зернистості та пір.

Об'ємна вага має ще один досить поширений тип - насипна вага. Такою вагою вважається загальна вага наповнювачів (піску або щебеню), при якій не вираховується вага пустот, які утворюються між великими частками сипучого будівельного матеріалу.

До теплофізичних властивостей відносять теплопровідність, теплоємність та щільність.

Щільність - це загальна ступінь заповнюваності обсягу окремого матеріалу тими твердими частинками, з яких сам матеріал складається. Пористість - це співвідношення загального обсягу пористих частин матеріалу з його загальним об'ємом.

Завдяки різній величині пір матеріали можна розділити на великопористі і дрібнопористі. Такі пори обчислюються в сотих і десятих міліметра. Якщо в будівельних матеріалах є пори більшого розміру, здебільшого це стосується сипучих варіантів, то такі пори прийнято називати порожнечами.

Як правило, пористість позначають в процентному співвідношенні. Наприклад, метал має нуль відсотків пористості, тоді як плита з мінеральної вати має 90 % пористості. Як правило, будівельні матеріали з максимальною пористістю грають роль гарного теплоізоляційного матеріалу, який використовується як в зовнішньому, так і у внутрішньому будівництві.

Вогнетривкість - це здатність будівельного матеріалу максимально довгий час чинити опір впливу підвищеної температури, яка має безпосередній вплив на сам будівельний матеріал. Такі властивості досить корисні при будівництві конструкцій, які довгий час знаходяться в умовах підвищеної температури. До таких конструкцій можна віднести печі, теплові труби або каміни. Для всіх цих будівельних конструкцій потрібно будівельний матеріал з підвищеною вогнетривкістю.

2.2 Методи визначення теплоємності матеріалу

Значення теплоємності є дуже важливим критерієм при оцінюванні якості утеплювача, тому було поставлено експеримент по визначенню теплоємності від різних факторів впливу. Теплоємність твердих тіл звичайно досліджують при тиску, що дорівнює атмосферному. Вплив тиску на теплоємність стає помітним при дуже великих тисках [54].

Найчастіше для дослідження теплоємності при невисоких температурах застосовують метод безпосереднього нагріву. [55, 56] Принципова схема калориметра зображена на рис. 2.1.

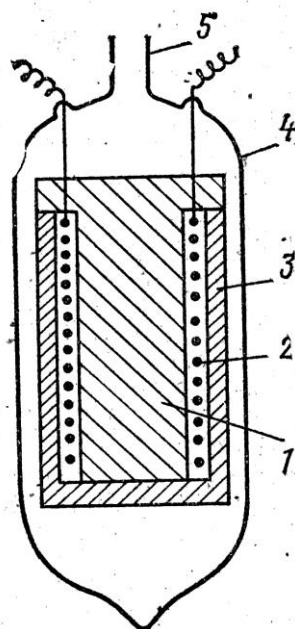


Рисунок 2.1. – Схема калориметра безпосереднього нагріву.

На досліджуваному зразку 1 намотаний електричний нагрівач 2. Зразок поміщений в циліндр 3 із того ж матеріалу. Нагрівач одночасно служить і термометром опору. Зразок підвішується всередині сосуда 4, з'єданого з вакуумною системою лінією 5. Калориметр поміщується в кріостат, де утворюється стаціонарна температура дослідів.

Визначення теплоємності виконується наступним чином. В першому періоді калориметричного дослідів перед включенням нагрівача, протягом деякого часу вимірюють температуру зразка. Потім включають нагрівач, при цьому температура збільшується на величину ΔT (другий або головний період). Після відключення нагрівача знову записують температуру (третій період).

Вимірявши зростання температури ΔT , внесши поправки на теплообмін із оболонкою 4 й визначивши кількість теплоти Q , підведеної власне до досліджуваного зразка, можливо обчислити теплоємність зразка:

$$C_p = \frac{\left(\frac{Q}{\Delta T} - \sum_{i=1}^n (m_i \cdot C_{pi}) \right)}{m},$$

де m_i та C_{pi} - маса та теплоємність елементів калориметра (дріт, ізоляція і т.п.);

m – маса досліджуваного зразка.

Типова конструктивна схема калориметра зображена на рис. 2.2 [57].

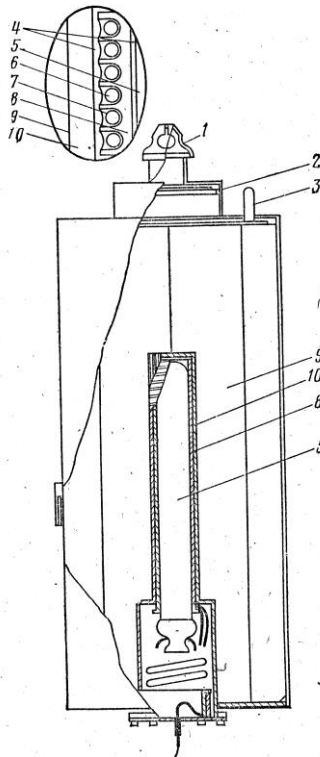


Рисунок 2.2. – Конструктивна схема калориметра безпосереднього нагріву.

1 - Конічний контакт; 2 - кришка; 3 - трубка для заповнення калориметра гелієм; 4 - теплопровідне мастило; 5 - термометр опору; 6 - нагрівач; 7 - ізоляція; 8 - гільза; 9 - мідні ребра; 10 - гільза нагрівача.

Зовні калориметричного сосуду розміщен платиновий термометр опору 5. На поверхні термометра розташована гільза 8 з електричним нагрівачем 6 у вигляді мідного дрота в ізоляції 7. Між гільзою та поверхнею термометра розташований шар теплопровідного мастила 4. В свою чергу гільза нагрівача вставлена всередину золоченої гільзи 10, причому проміжок між нагрівачем та гільзою також заповнен мастилом 4. Зовні до гільзи 10 прикріплені тонкі мідні ребра 9 (при дослідженні сипучих матеріалів), що сприяють розповсюдженню теплоти від нагрівача. Із цією ж метою внутрішня порожнина калориметра крізь запаювану трубку 3 заповнена гелієм. У подібному калориметрі величина $\sum_{i=1}^n (m_i \cdot C_{pi}) = A$, зазвичай звана тепловим значенням калориметра, може бути визначена в дослідах із повністю зібраним калориметром, але без досліджуваного зразка.

Метод безпосереднього нагріву використовують також при підвищених та високих температурах. Однак збільшення інтенсивності радіаційного теплообміну створює труднощі в його реалізації. Разом із цим метод може з успіхом застосовуватись при високих температурах, якщо калориметр оточити адіабатною оболонкою. В цьому випадку автоматичний регулятор буде підтримувати

температуру оболонки калориметра рівною температурі поверхні зразка. Це зводить до мінімуму теплові втрати зразка та знижує похибку вимірювання теплоємності.

Теплове значення калориметра визначають або розрахунковим шляхом (що є менш точним), або експериментально [58].

Типова конструкція калориметра, працюючого при температурах до 600 К, показано на рис. 2.3. Детальніше опис техніки калориметричного експеримента описано в [57, 59].

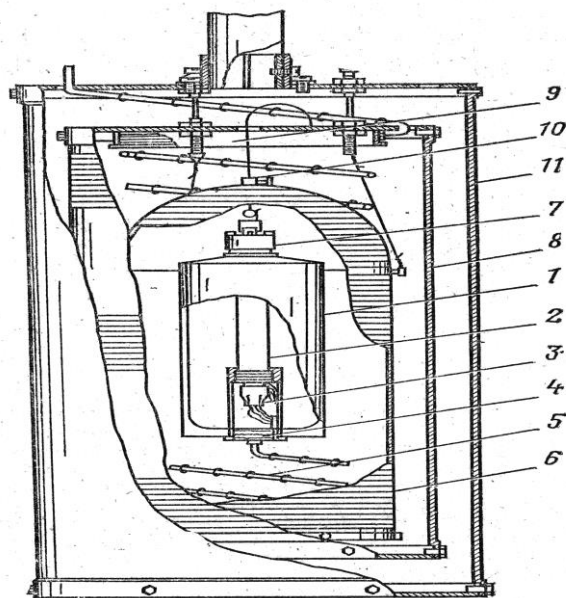


Рис. 2.3 - Схема установки із високотемпературним адіабатним калориметром.

1 - калориметр; 2 - нагрівач; 3 - термометр; 4 - екрани; 5 - спіраль із дротів, що проводять; 6 - адіабатна оболонка; 7 - пробка калориметра; 8 - корпус-нагрівач; 9 - екрани; 10 - підвіска калориметра; 11 - зовнішній корпус.

2.3 Методи визначення коефіцієнта теплопровідності матеріалу

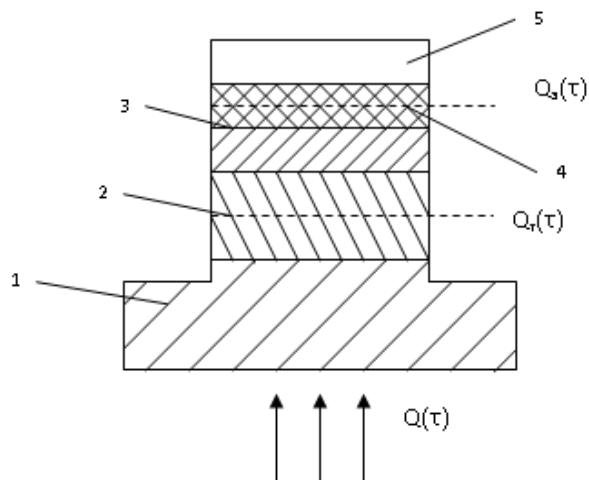
Раніше описувались численні аналітичні й емпіричні дослідження впливу пористості або щільності засипки на теплопровідність кінцевого матеріалу або шару. Було показано, що всі залежності мають свою область використання та не придатні для загальних випадків. Деякі залежності зовсім не придатні для розрахунку теплопровідності пористих матеріалів. Тому були проведені експерименти по визначенню теплопровідності різних пористих матеріалів. Досліджувались зразки спученої глини, зразки $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ та пресованого порошку гіпсу. Виміри теплопровідності проводились на ІТ- λ -400. Даний вимірювач призначений для дослідження температурної залежності теплопровідності твердих механічно оброблених матеріалів в режимі монотонного нагріву, дозволяє з одного експерименту отримати одночасно температурну

залежність досліджуваного параметра і забезпечення високою продуктивністю. Теоретичне обґрунтування методу викладено в [8].

На рис. 2.4 приведена теплова схема методу вимірювання теплопровідності. Пластина контактна 3, дослідний зразок 4 та стрижень 5 монотонно розігріваються тепловим потоком, який поступає від основи 1 бокові поверхні стрижня 5, зразка 4, пластина 2 та контактна пластина 3 адіабатично ізольовані за допомогою автоматичної підтримки малої різниці температур (близько 0,1 °С) між ними і адіабатичної оболонки, яка має нагріваючий елемент. Пластина 3 та стрижень 5 виготовлені з міді, яка володіє високою теплопровідністю, завдяки чому перепади температур на них не значні. Пластина 2 виготовлена з неіржавіючої сталі.

Тепловий потік проходить через середній розріз пластини 2, частково поглинається в ній за рахунок його розігрівається пластина 3, зразок який досліджується 4, а також стрижень 5.

Параметри системи були вибрані таким чином, щоб теплові потоки, які акумулюються дослідним зразком 4 і пластиною 3, були в 5-10 разів менше тих, які поглинаються стрижнем 5.



1 - підставка; 2 - пластина; 3 - пластина контактна; 4 - випробуваний зразок; 5-стержень.

Рис.2.4 - Теплова схема методу

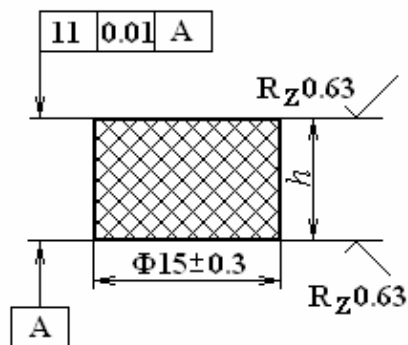


Рис.2.5 – Креслення зразка

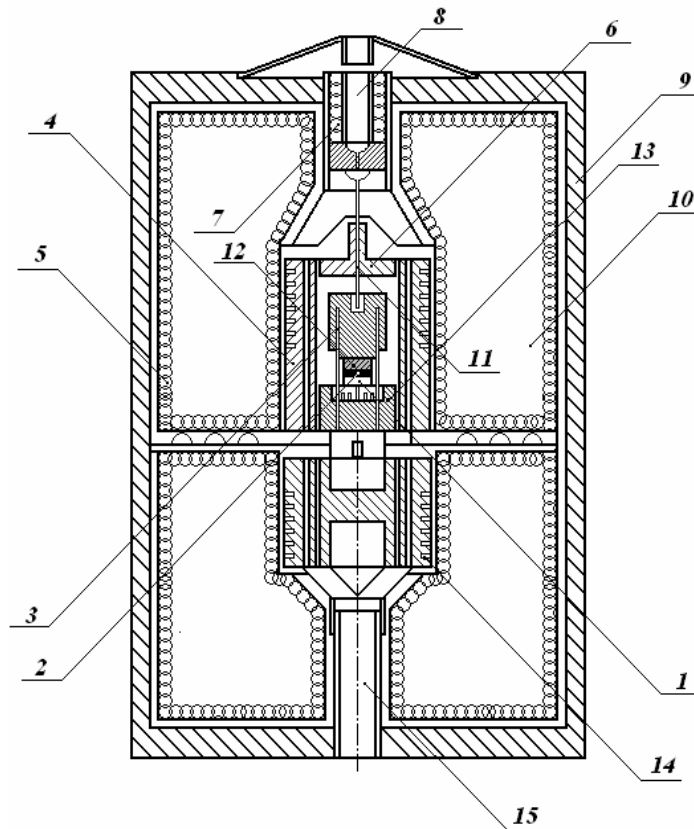


Рис. 2.6 – Схема вимірювальної чарунки.

1 - пластина; 2 - пластина контактна; 3- термопара; 4 - ковпачок охоронний;
5 - коробка з фольги; 6 - притискувач; 7- пружина; 8 - патрубок; 9 - корпус;
10 - оболонка теплозахисна; 11 - стрижень; 12 - зразок досліджувальний;
13 - основа; 14 - блок нагрівальний; 15 – патрубок.

Робочі розрахункові формули для теплового опору зразка і його теплопровідності наведені нижче [9].

Тепловий опір зразка знаходилося за такою формулою

$$P_0 = \frac{\nu_0 \cdot S \cdot (1 + \sigma_c)}{\nu_T \cdot K_T} - P_k,$$

де K_T - коефіцієнт пропорційності, що характеризується ефективною теплопровідністю пластини (величина постійна для приладу, знаходиться при градирування), Вт / К;

P_k - Тепловий опір контактів (величина постійна для приладу);

σ_c - поправка враховує теплоємність зразка, внесок якої не перевищує 10%;
 v_0 - перепад температур на зразку, К;
 v_T - перепад температур на пластині, К.

Поправка враховує теплоємність зразка, визначалася за такою формулою [10]

$$\sigma_c = \frac{C_0}{C_0 + 2C_c},$$

де C_0 - повна теплоємність зразка, $C_0 = c_0(t) \cdot m_0$;

C_c - повна теплоємність стрижня, $C_c = c_m(t) \cdot m_c$;

c_0 - наближене значення масової питомої теплоємності зразка, Дж/(кг·К);

c_m -значення масової питомої теплоємності міді, Дж/(кг·К);

m_0 - маса зразка, кг;

m_c - маса стержня, кг.

Дана формула відрізняється від формули запропонованої [9]. Її вибір обґрунтований тим, що градієнтові коефіцієнти розраховувалися раніше саме поданою формулою.

Теплопровідність зразка визначають за такою формулою

$$\lambda = \frac{h}{P_0},$$

де h - висота зразка, м.

Розраховані значення теплопровідності зразка були віднесені до середньої температури зразка, яка визначається за формулою

$$\bar{t} = t_c + 0,5 \cdot A_t \cdot n_0,$$

де $\bar{t}$ - середня температура зразка, °С;

t_c - температура при якій проводилися вимірювання, °С;

A_t - чутливість термопар ХА, К/мВ;

n_0 - перепад температури на зразку, мВ;

h – висота випробуваного зразка, м;

d - діаметр випробуваного зразка, м;

S – площа поперечного перетину випробуваного зразка, м²;

m - маса випробуваного зразка;

t_c - температура стрижня, °C;
 n_0 - перепад температури на зразку в мікрівольтах;
 n_t - перепад температури на робочому шарі тепломіру в мікрівольтах;
 K_m - теплова провідність тепломіра, Вт/К;
 R_k - контактний тепловий опір, (К м)/Вт;
 C_c - повна теплоємність стрижня, Дж/К;
 σ_c - поправка на теплоємність зразка;
 A_t - чутливість термопар, (К/мВ)±20;
 t - середня температура зразка, °C;
 λ - теплопровідність випробуваного зразка, Вт/(м·К).

2.4 Особливості дослідження теплофізичних характеристик пористих матеріалів

Більшість існуючих досліджень пористих структур матеріалів теплового захисту елементів промислових енергетичних установок враховують загальну пористість як основну структурну характеристику теплоізоляційного матеріалу, та іноді враховують або форму пір та їх кількість або та тип пір [101–103]. Проведений аналіз сучасної літератури показує, що навіть одночасне врахування загальної пористості матеріалу, розміру і типу пір недостатньо для повної характеристики пористої структури теплоізоляційного матеріалу. В [104] пропонується приділяти увагу в пористих системах наступним основним чинникам: характер структури, число компонентів структури, агрегатний стан компонентів структури і процеси взаємодії між компонентами структури. Наведені комплексні показники зручні для поділу пористих систем в цілому тому, що вони дозволяють управляти теплофізичними властивостями конкретного макропористого матеріалу шляхом зміни структури пористості. Але дані показники не дають змоги знайти функціональної залежності теплофізичних властивостей теплоізоляційних матеріалів від пористої структури, що не дає змогу оптимізувати теплофізичні властивості пористого теплоізоляційного матеріалу шляхом створення прогнозованих пористих структур. Тому пропонуються основні комплексні показники пористої структури теплоізоляційного матеріалу та конструкцій теплового захисту елементів промислових енергетичних установок, які повною мірою відображають пористу структуру й надають можливість складання регресійного рівняння залежності теплофізичних властивостей пористих теплоізоляційних матеріалів від запропонованих показників [105].

1) Пористість – P , %. Пористість як загальний показник щільності теплоізоляційного матеріалу та конструкцій теплового захисту.

2) Кількість пір – n , шт/м³. Кількість пір для гомогенної структури у сукупності з пористістю дають загальне уявлення про розподіл пір у матеріалі.

Зміна кількості пір у часі під час формування пористої структури теплоізоляційних матеріалів виражає динаміку процесу пороутворення.

3) Розташування пір в просторі – описується системою трансляцій Браве (решітка Браве), в якій пора є ядром решітки з розмірами менш ніж комірка Вігнера — Зейтца, або статистичним розподілом пір по об'єму теплоізоляційного матеріалу.

4) Форма пори – просторова функція координат, що описує форму пори. Можливо, прийняття опису всіх пір як сфер з описом деформації, властивий даній сфері, згідно гіпотезі Пуанкаре або габаритними розмірами пори, або загальним коефіцієнтом геометричної характеристики пористої структури.

5) Показники стану газу у порах – градієнт температури, від якого залежить конвекція у порах та фізичні властивості теплоносія у порі. Можна також представити добутком числа Грасгофа на число Прандтля.

Для визначення енергоємності створених пористих теплоізоляційних матеріалів та конструкцій теплового захисту елементів промислових енергетичних установок використовується енергія формування пористої структури

$$dQ_{\text{пор}} = T_{\text{пор}} dS + \varphi_{\text{пор}} dM_{\text{пор}}.$$

Під час формування пористої структури теплоізоляційних матеріалів з сировинної суміші необхідно враховувати термодинамічні умови формування пір та склад сировинної суміші. Тому необхідно ввести для таких матеріалів узагальнюючий показник K_0 .

Для необхідних умов експлуатації передбачається дослідити основні три напрямки формування пористої структури: у теплоізоляційному матеріалі, у теплоізоляційному виробі та у конструкції теплового захисту енергетичного обладнання.

Для формування теплоізоляційного матеріалу необхідно визначити термодинамічні параметри газу під час формування пори, що надасть можливість побудувати модель зміни пористості у теплоізоляційних матеріалів. Для формування пористого теплоізоляційного виробу та конструкції теплового захисту необхідно знайти узагальнене рівняння ефективного коефіцієнту теплопровідності, за допомогою якого можна оптимізувати структури елементів конструкцій теплового захисту. Розвиток теорії формування теплофізичних властивостей у цих напрямках дозволить покращити якість існуючих теплоізоляційних матеріалів, композиційних матеріалів та металевих конструкцій теплового захисту спеціального призначення.

Питання для самоперевірки:

1. Назвіть основні комплексні показники пористої структури теплоізоляційного матеріалу

2. Для чого призначений вимірювач IT-λ-400 Що він дозволяє отримати одночасно?
3. Що необхідно визначити для формування теплоізоляційного матеріалу?
4. Яким основним чинникам пропонується приділяти увагу в пористих системах?
5. Опишіть експеримент за допомогою якого можливо обчислити теплоємність зразка
6. В чому полягає відмінність питомої ваги від об'ємної?
7. Що таке вогнетривкість матеріалу та в яких випадках ця характеристика має значення?
8. Що дозволить покращити якість існуючих теплоізоляційних матеріалів, композиційних матеріалів та металевих конструкцій теплового захисту спеціального призначення?
9. Опишіть конструкцію калориметра. Яка деталь грає важливу роль при проведенні експерименту із використанням даного приладу?
10. Надайте визначення понять щільність та пористість.

Практичне завдання

Провести дослідження з визначення однієї характеристики теплофізичних властивостей пористого матеріалу.

РОЗДІЛ 3. ПУБЛІКАЦІЯ ФАХОВОЇ ТА МІЖНАРОДНОЇ СТАТТІ

План:

- 3.1 Наукова обробка інформації
- 3.2 Як підготувати публікацію для міжнародного журналу
- 3.3 Структура наукової статті
- 3.4 Практичні поради з написання основних розділів
- 3.5 Відмінні риси академічної англійської мови
- 3.6 Складання анотації
- 3.7 Написання заголовків
- 3.8 Вибір ключових слів
- 3.9 Процес підготовки статті для подачі в міжнародний журнал
- 3.10 Створення власної бібліографічної бази даних за допомогою EndNote Online
- 3.11 Сортування записів, створення груп і управління доступом до них
- 3.12 Використання шаблонів оформлення бібліографії
- 3.13 Використання модуля Cite-While-You-Write для Microsoft Word

Мета вивчення розділу: формування уявлення щодо сутності та основних завдань наукової обробки інформації, ознайомлення із структурою наукової статті та процесом підготовки статті для подачі в міжнародний журнал, знайомство із дослідницьким та довідковим менеджером EndNote.

Ключові поняття: індекс цитування, індекс Хірша, імпакт-фактор, база даних, Web-кільце, використання шаблонів оформлення бібліографії, рецензія.

3.1 Наукова обробка інформації

Проблема пошуку й використання інформації – одна з самих актуальних в сучасній науці. Питання ефективного й якісного пошуку інформації в Інтернеті займає високу позицію й охоплює комплексне використання пошукових інструментів таких як: пошукові каталоги, пошукові системи, метапошукові системи й програми.

Індекс цитування – прийнята в науковому світі міра значущості наукової роботи будь-якого ученого або наукового колективу. Величина індексу цитування визначається кількістю посилань на публікацію, або на прізвище автора в інших джерелах.

Індекс Хірша, або "*h-індекс*" – наукометричний показник, який є кількісною характеристикою продуктивності вченого, групи вчених, наукової організації або країни в цілому. Механізм розрахунку індекса Хірша є достатньо простим: *індекс*

Хірша дорівнює N , якщо науковець (наукова установа) опублікував N наукових статей, кожна з яких була процитована щонайменше N разів. При цьому усі інші статті були процитовані менше, ніж N разів.

Імпакт-фактор (ІФ або IF) – формальний чисельний показник важливості наукового журналу. Показник розраховується як кількість посилок в конкретному році на опубліковані в журналі статті за попередні 3 роки і є в якійсь мірі характеристикою авторитетності журналу.

Наукометрична база даних – бібліографічна і реферативна база даних, інструмент для відстеження цитованості наукових публікацій. Наукометрична база даних, це також пошукова система, яка формує статистику, що характеризує стан і динаміку показників затребуваності, активності та індексів впливу діяльності окремих вчених і дослідницьких організацій. Найбільш актуальними є такі наукометричні бази як:

Scopus, Web of Science, IndexCopernicus, GoogleScholar.

SCOPUS - найбільша реферативна міждисциплінарна наукометрична база даних та інструмент для відстеження цитованості статей, опублікованих у наукових виданнях. Індексує наукові журнали, матеріали конференцій та серійні книжкові видання.

WEB of SCIENCE - найавторитетніша у світі аналітична і цитатна база даних журнальних статей Філадельфійського інституту наукової інформації. Містить систему коригування ідентифікації науковців й враховує всі цитування у наукових працях, що в ній розміщені.

Index Copernicus - онлайнова наукометрична база даних із інформацією про авторів публікацій, наукові установи, друковані видання та проекти. Має кілька інструментів оцінки продуктивності, які дозволяють відстежувати вплив наукових робіт і публікацій, окремих вчених або науково-дослідних установ.

Google Scholar - пошукова система вільного доступу, яка забезпечує повнотекстовий пошук наукових публікацій усіх форматів та дисциплін. Сервіс враховує загальну кількість цитувань, загальну кількість цитованих публікацій та індекс Хірша.

Каталог Інтернет ресурсів – це постійно поновлювальний ієрархічний каталог, що містить безліч категорій і окремих web-серверів з коротким описом їх вмісту. Спосіб пошуку по каталогу увазі «рух вниз по сходах», тобто рух від більш загальних категорій до більш конкретних. Однією з переваг тематичних каталогів є те, що пояснення до посилок дають творці каталогу і повністю відображають його зміст, тобто дає можливість точніше визначити, наскільки відповідає зміст сервера меті Вашого пошуку.

Web-кільце (англ. Webring) – об'єднання веб-сайтів зі схожою тематикою. При цьому кожен учасник такого кільця розміщує у себе на сторінці посилання на наступного і попереднього члена кільця. Таким чином, переходячи по посиланнях

можна відвідати сайти всіх членів кільця. Є способом упорядкування сайтів в мережі, поряд з каталогами та пошуковими системами.

В іноземному Інтернеті веб-кільця нараховують десятки тисяч. Всі веб-кільця обслуговуються сайтом Webring.

3.2 Як підготувати публікацію для міжнародного журналу

Статистика публікації Scopus свідчить: тільки максимум половина від усіх поданих рукописів йде до друку. На кону занадто високі ставки, і авторитетні видання не пропускають посередній матеріал, роботи з помилками, неправильним оформленням. Процес публікації в індексованих в реферативній базі Scopus журналах не можна назвати легким. Причини відмови індивідуальні і різноманітні.

Незважаючи на різноманіття проблем, з якими стикаються автори і редактори при публікації наукових статей, можна узагальнити типові помилки.

Саме вони найчастіше призводять до негативної рецензії та відмови в публікації:

Помилки з самоідентифікацією. Автори часто не вказують власне ім'я на початку статті, найменування свого навчального закладу, не пояснюють в подяці, ким є або забувають розмістити власну фотографію. Варто уникати надмірного самоцититування. При цьому важливо пам'ятати про необхідність приведення цитат власних доповідей на конференції, презентацій, старих неопублікованих робіт.

Недоліки в оформленні. Важливе значення приділяється структурі. Саме тому ймовірними причинами відмови є: відсутність короткого опису, заключення, висновків, методології, заголовку. Наукова стаття Scopus не може являти собою рекламну брошуру з елементами самомилування – це впершу чергу дослідницька праця. Не слід захоплюватися аббревіатурами і кліше. Важлива помірність в знаках пунктуації (їх повинно бути і не багато, і не мало). Не допускаються будь-які помилки.

Неточності зі списком літератури. Редакторами авторитетних видань не вибачається зловживання посиланнями на веб-ресурси або відсутність зв'язку джерел з областю дослідження, якій присвячена наукова стаття. Актуальність роботи підкреслюється посиланнями на сучасні джерела – акцент на слові «сучасні». Кожен представлений пункт літератури повинен використовуватися. Перелік тільки заради переліку неприпустимий. Використовуйте повні посилання і не зловживайте джерелами іноземною мовою.

Помилки у формулюванні мети. Типова причина відмови – відсутність вказівки, ким написана робота, відсутність або неясність причини написання наукової статті, складність причин і питань. Неприпустимий, але часто зустрічається, заклик автора до рецензента про вказівку останнім, яка саме повинна бути мета. Тоді як сам автор підкреслює можливість застосування

отриманих даних у багатьох напрямках. Не можна допустити, щоб заявлені питання і цілі не розглядалися в науковій статті.

Проблеми з малюнками. Без елементів візуалізації складно уявити наукову статтю. Разом з тим в число можливих причин відмови в публікації входить відсутність позначень малюнків, невірне їх позначення, наявність посилань на малюнки без підкріплення самими зображеннями, використання незнайомого для журналу стилю або шрифту.

Необґрунтованість вкладки статті. Для недопущення відмови важливо уникати такого змісту:

- стаття підтверджує, уточнює, деталізує вже існуючі дослідження;
- матеріал є підтвердженням або запереченням очевидних чи нікому не цікавих фактів;
- стаття не привносить будь-якого внеску в теорію;
- дослідження не можна назвати якісним через перенасиченість або недостатність вибірки;
- стаття є прямим або непрямым копіюванням вже існуючого матеріалу;
- зі статті не ясно, яка практична значущість та застосованість результатів дослідження.

Помилки з методологією.

Причинами відмови в публікації також служать: відсутність інформації про методологію, присутність в прикладах небажаної упередженості, використання неприйнятної для конкретного журналу методології. Крім того, у більшості журналів викликає стурбованість застосування факторного аналізу з безліччю змінних і незначна частка спостережень.

Успішна і своєчасна публікація багато в чому залежить від того, як відслідковані дати випуску журналів і терміни найближчих наукових конференцій. Важливо враховувати, що різні видання Scopus виходять з різноманітною періодичністю - в рік, півроку, місяць, кілька тижнів. Цей аспект важливо враховувати для правильного визначення дати публікації.

Серед інших рекомендацій, як уникнути відмов, лідирують такі пункти:

- Уважно перевірити вимоги до оформлення. Це стосується як самої наукової статті, так і супровідної документації.
- Забезпечте якісний професійний переклад на англійську мову. В окремих випадках достатньо перекладу заголовка, ключових слів анотації, списку використаних джерел. Бажано залучити до перекладу англomовних фахівців.
- Правильно заповніть заявку та підготуйте супровідну документацію. Всі пункти форми повинні містити відповідну інформацію.
- Скористайтесь внутрішнім і зовнішнім рецензуванням. Це більш витратний варіант, але він підвищує шанси уникнути помилок і доопрацювань.

Важливим аспектом для того, щоб уникнути відмови в публікації, є думка рецензента. Не варто боятися об'єктивної, конструктивної і виправданої критики. Сприймайте це як шанс удосконалити статтю, заощадити власний час і гроші. Іншою стороною медалі є недобросовісні рецензенти.

Якщо рецензент дав висновок про можливість опублікування без доробок або з незначними доробками - шанси дуже великі. Якщо формулювання вступу звучить як можливість публікації після істотних виправлень або якість матеріалу не підходить для публікації - це привід об'єктивно оцінити свою статтю ще раз. Якщо є впевненість в якості - шукайте інших партнерів. Наукометрична база Scopus лідирує за кількістю рецензованих журналів.

Після того, як стаття надійшла в журнал, вона буде рецензуватися. Переглядом та незалежним редагуванням статей в дослідницьких журналах займаються визнані експерти в своїх областях. Рецензентів призначає редактор журналу. У деяких журналах редактори просять авторів надати імена потенційних рецензентів, проте підбір рецензента є обов'язком редактора. Редактор може сам виступати в ролі рецензента.

Рецензування виконує дві основні функції:

1) Виступає в ролі фільтра, завдяки чому публікуються тільки якісні дослідження. Рецензенти визначають обґрунтованість, значимість і оригінальність роботи;

2) Покращує якість досліджень, що подаються на публікацію: рецензенти можуть внести пропозиції щодо поліпшення рукопису і дослідження.

Рецензент радить редактору прийняти рукопис, прийняти з необхідністю коригування або відхилити рукопис. Щоб скласти справедливе судження про рукописи, рецензенти перевіряють її, спираючись на свій власний список контрольних питань (який дуже схожий на список, наведений вище!). Цей список допомагає їм оцінити зміст статті на предмет наукової цінності та оригінальності, відповідності стандартної структури наукових робіт і правильного оформлення цитат і посилань. Рецензент уважно вивчає вашу методологію і етичний підхід. Потім він радить вам, які зміни слід внести в рукопис перед її публікацією.

Рецензент повинен відмовитися від рецензування, якщо його кваліфікація і спеціальність не відповідають напрямку статті.

Метою рецензента є об'єктивна оцінка якості даної статті і визначення ступеня її відповідності науковим, літературним та етичним стандартам.

Усі статті проходять перевірку на плагіат за допомогою спеціальних програм. У разі наявності у рецензента сумнівів щодо плагіату, авторства або фальсифікації даних, він в обов'язковому порядку повинен звернутися до редакційної колегії з вимогою до колективного розгляду авторської статті.

Процес прийняття оригінальної статті до друку в загальному вигляді складається з ряду стадій:

Стаття надходить до редакції від автора.

Стаття розглядається випусковим і / або головним редактором на предмет загальної відповідності тематиці журналу і випуску, для якого передбачається стаття.

Головний та / або випусковий редактор також оцінює загальну якість статті, якість оформлення, наявність / відсутність запозичень, загально-наукову (практичну) грамотність складання статті, також в найзагальніших рисах оцінюється змістовна якість статті. При необхідності стаття може бути направлена на доопрацювання автору.

При позитивній оцінці статті редактором, стаття направляється до рецензента, якого слід обрати відповідно до тематики номера з числа авторитетних фахівців з даної теми. При призначенні рецензентів редакція виходить з принципу уникнення можливих конфліктів інтересів.

Рецензування проводиться за закритою схемою (рецензенту не повідомляється інформація про автора, автору не повідомляється інформація про рецензента).

Рецензент оцінює матеріал і виносить один з наступних висновків:

А) Настійно рекомендується до друку.

Б) Рекомендується до друку.

В) Рекомендується з виправленнями.

Г) Не рекомендується.

Д) Настійно не рекомендується.

Редакція не вимагає розгорнутих рецензій у разі прийняття позитивного рішення рецензентом (А і Б), у випадку, якщо рецензент вказує на необхідність виправлень, а також у разі, якщо рецензент вважає статтю непридатною для публікації, він надає в редакцію розширений відгук.

У разі негативного відгуку, у випадку, якщо рецензент потребує внесення правок, за особливим рішенням редакції призначається другий рецензент, який розглядає статтю за такою ж схемою. Призначення другого рецензента також можливе за рішенням випускового редактора.

Негативний відгук одного рецензента не є однозначним автоматичним приводом для відмови в публікації, але може бути підставою для цього. Негативні відгуки більшості рецензентів (при призначенні двох і більше рецензентів) є підставою для відмови в публікації статті. Відхилені статті не приймаються до повторного розгляду.

Позитивний відгук рецензента не є достатньою підставою для публікації статті - остаточне рішення про публікацію приймає редакція журналу.

Відгуки рецензентів не повідомляються авторам безпосередньо, в разі відхилення матеріалу редакція направляє автору мотивоване письмове рішення, засноване на відгуках рецензентів та рішенні редакції.

Розглядаючи рецензії на статті для прийняття рішення про публікацію, редакція не враховує змістовну згоду / незгоду рецензента з матеріалом та / або

авторську позицію. Статті оцінюються тільки за критеріями загальної якості представлення матеріалу і загально-наукової (практичної) якості. У разі виникнення полеміки, редакція може надати рецензенту підготувати письмовий відгук на статтю, який потім може бути опублікований разом зі статтею, при цьому, автор статті отримує можливість ознайомлення з відкликанням і відповіді на нього в тому ж випуску. При необхідності, редакцією може бути організована дискусія в рамках одного номеру із залученням різних авторів.

3.3 Структура наукової статті

Загальні вимоги до наукової публікації (Постанова Президії ВАК України від 15.01.2003 р., 7-05/01):

- постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями;
- аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми і на які спирається автор;
- виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується означена стаття;
- формулювання цілей статті (постановка завдання);
- виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів;
- висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямку.

Метадані публікуються в журналі, на сайті журналу в архіві публікацій та зберігаються у відповідних вітчизняних і закордонних інформаційних та наукометричних базах.

Для кожної статті необхідно вимагати від авторів та наводити в тексті кожної публікації (трьома мовами):

Автори (ім'я (ПІБ), місце роботи, місто, e-mail).

Назва публікації.

Анотація.

Обсяг анотації не більше 250 слів (не більше 1 500 знаків) – приблизно 0,5 сторінки, повинна включати такі пункти:

Завдання – цілі наукового дослідження.

Методологія та наукові підходи.

Висновки - які основні результати дослідницької наукової роботи.

Рамки дослідження, можливість використання результатів, напрямок подальших досліджень.

Практичне значення.

Соціальні наслідки (якщо є) - вплив на суспільство / політику.

Оригінальність / цінність.

Ключові слова: не менше 3 та не більше 8.

References: англomовний варіант списку використаних джерел.

Ці блоки метаданих повинні бути присутніми як у друкованій так і в електронній версії кожної публікації. Друкована та електронна версії публікації мають бути абсолютно ідентичними.

3.4 Практичні поради з написання основних розділів

Вступ

Вступ повинен бути коротким. Це означає, що він повинен розкривати контекст дослідження даного питання, однак не повинен перетворитися на лекцію з історії. Вступ повинен чітко визначати досліджувані питання, його контекст, а також причини проведення дослідження. Для виділення контексту ви повинні коротко проаналізувати раніше проведені дослідження, а також сформулювати питання, на які ви намагаєтеся відповісти. Поясніть результати інших досліджень, які ви ставите під сумнів або підтримуєте. Коротко і логічно підведіть читача до своєї гіпотези (своїм гіпотезам), питання (питань) дослідження, а також до загального експериментального підходу або методу (якщо він у вас є).

Метод

(Цей розділ також може називатися «Матеріали і методи» або «Експериментальні методи»)

В цьому розділі читачеві надається досить докладна інформація для того, щоб він міг відтворити ваше дослідження. Поясніть, чому ви взяли за вивчення даного питання, виділіть процедури, яким ви слідували, і структуруйте їх якомога логічніше. Якщо ви використовували нові методи, вам слід детально їх пояснити. Якщо ці методи вже використовувалися в раніше опублікованих роботах, приведіть назву методу і цитату з раніше опублікованої роботи. Якщо ви використовували модифіковані методи, слід послатися на оригінальну роботу і привести внесені вами зміни. Вкажіть обладнання і опишіть матеріали, використані в ході дослідження; якщо якість матеріалів варіюється, вкажіть їх джерела. Вкажіть частоту спостережень, а також типи реєстрованих даних. Описувати засоби вимірювання потрібно з точністю, вказуйте переваги і недоліки окремих засобів вимірювання. Наведіть назви всіх використаних статистичних критеріїв, за допомогою яких можна обґрунтувати отримані числові результати. Рекомендується використовувати минулий час і уникати дієслів в першій особі (хоча такі вимоги залежать від кожного конкретного журналу).

Якщо у вашому дослідженні задіяні люди, тварини, стовбурові клітини або інші біонебезпечні матеріали, вам слід написати заяву про дотримання етичних норм, в якій повинно бути приведено згоду учасників на публікацію даного

дослідження. Також слід виділити критерії, що використовувалися для відбору учасників, і обґрунтувати значимість цих критеріїв.

Результати

Цей розділ повинен об'єктивно представляти результати вашого дослідження, а також пояснювати (переважно у вигляді тексту), які факти були виявлені. У цьому розділі ви демонструєте, який внесок ваші нові результати вносять в базу наукових знань. Тому важливо чітко вибудувати їх в логічній послідовності. Ця послідовність повинна ґрунтуватися на таблицях і схемах, які найкращим чином представляють результати вашого дослідження. Необроблені дані рідко включаються в наукову статтю; дані зазвичай аналізуються і подаються у формі схем, діаграм, таблиць і описів проведених спостережень. Також важливо чітко виділити основні напрямки. Таблиці і схеми повинні бути пронумеровані окремо і йти в тій послідовності, в якій вони згадуються в тексті. До таблиць має додаватися короткий опис (легенда), з якого читач може зрозуміти, як були отримані ці дані. У цьому розділі не слід аналізувати отримані результати – для цього призначений розділ «Обговорення та висновки».

Аналіз і висновки

У цьому розділі описується значення отриманих результатів, особливо в контексті тих фактів, які вже були відомі про предмет дослідження. Тут ви можете навести загальні і приватні висновки. Переконайтеся чи не підсумовуєте ви в цьому розділі вашу роботу: для цього призначена анотація. Щоб зв'язати цей розділ з Вступом, слід повернутися до висунутої гіпотези (гіпотез) і пояснити, якою мірою отримані результати відповідають вашим очікуванням і до літературних джерел, на які ви посилалися у своїй роботі. Ваші результати підтверджують уже існуючі теорії або суперечать їм? Що важливіше, в цьому розділі ви повинні пояснити, який внесок в розвиток науки внесло ваше дослідження. Запропонуйте подальші можливі експерименти і вкажіть, ведуться або вони вже є. Ваші висновки повинні ґрунтуватися на отриманих вами результатах: важливо не поширювати ваші висновки за межі отриманих результатів, щоб уникнути недоречних міркувань і сміливих суджень. Також в цьому розділі можна запропонувати засоби практичного застосування отриманих результатів і виділити наступні етапи вашого дослідження.

Впевніться, що ваші результати підтверджують ваші висновки; ви використовуєте конкретні вирази і кількісні описи (наприклад, «на 12 градусів вище» замість «більш висока температура»); ви використовуєте усталені терміни. Чи не вигадуйте свій власний словник? Забули про важливі терміни? Поверніться в розділ «Вступ» і опишіть його там; ви засновуєте всі свої тлумачення і міркування на фактах, а не на уяві.

Подяка

У цьому короткому розділі повинні приводитися імена тих людей, які допомогли вам у проведенні вашого дослідження – наприклад, асистенти або

постачальники, які безкоштовно надали вам матеріали. Також в своїй статті автори повинні вказувати фінансовий або інший вид субстантивного конфлікту інтересів, які можуть вплинути на результати або тлумачення дослідження.

Посилання

У новому дослідженні використовуються знання, отримані в ході попередніх досліджень, тому в статті повинні бути дані вказівки на раніше опубліковані роботи. Будь-яка інформація, що не впливає з вашого дослідження і не вважається загальновідомим фактом, повинна бути представлена у вигляді цитати. Засоби оформлення цитат значно відрізняються, тому щоб правильно оформити посилання, ознайомтеся з «Керівництвом для авторів», що запропоноване обраним вами журналом. Незалежно від його довжини, будь-який текст, цитований в статті, повинен бути укладений в лапки і супроводжуватися посиланням на нього. У списку використаних джерел в кінці статті повинні бути приведені всі посилання, використані в вашій статті. Цей розділ відрізняється від тих, що зустрічаються в книгах розділу «Бібліографія», де наводяться прочитані автором роботи, а не обов'язково ті роботи, які були процитовані в тексті. Вимоги до оформлення списку посилань також відрізняються в різних журналах, тому вам також слід уточнити цю інформацію в «Керівництві для авторів».

Стиль і мова

Перебуваючи в процесі написання свого рукопису, пам'ятайте, що обраний вами журнал, швидше за все, дотримується певного стилю. Якщо ви можете писати в цьому стилі, це збільшує шанси того, що ваша стаття буде опублікована. Також існує загальноприйнятий стиль написання наукової роботи. Його призначення полягає в тому, щоб якомога чіткіше і ясно розповісти про свої результати і висновки. Нижче наведено кілька порад.

Намагайтеся не прикрашати текст непотрібними словами або фразами. Дотримуйтеся простоти.

Використовуйте дійсний стан всюди, де це можливо. Наприклад, фраза «... вуглекислий газ використовувався заводом ...» стоїть в пасивному стані. Представляючи цю ж фразу в дійсному стані, ви значно спрощуєте пропозицію – «... завод використовував вуглекислий газ ...».

Зверніть увагу на час. Для вираження загальновідомих фактів і гіпотез використовуйте даний час (наприклад, «Середня тривалість життя медоносної бджоли становить шість тижнів»). Для опису проведених вами експериментів використовуйте минулий час (наприклад, «Всі медоносні бджоли містилися в середовищі з постійною температурою в 23 °C»). Для опису результатів експерименту використовуйте минулий час (наприклад, «Середня тривалість життя бджіл в досліджуваному середовищі склала вісім тижнів»).

Якість мови і редагування

Беручи до уваги постійно зростаючі стандарти в області як досліджень, так і публікацій, ви повинні упевнитися, що ваш рукопис оформлено на вищому рівні.

Важливим фактором є якість мови написання статті: граматичні, орфографічні та пунктуаційні помилки можуть затримати публікацію і навіть стати причиною відмови в публікації, в результаті чого ваше дослідження не отримає визнання, яке воно заслуговує. Якщо редактор бачить, що низька якість мови применшує наукову цінність статті, він повертає рукопис на доопрацювання. Знайти рецензента для рукопису – непросте завдання, і тому редактори намагаються надати для рецензування грамотно написані рукописи.

Як якість мови впливає на процес рецензування? Науковий зміст і гідність рукопису оцінюються рецензентами і редакторами. Обов'язок автора полягає в тому, щоб надати грамотно написаний рукопис, структура якого відповідає вимогам «Керівництва для авторів». У завдання редакторів і рецензентів не входить виправлення мовних помилок. Грамотно написаний і правильно структурований рукопис є запорукою того, що процес рецензування пройде гладко. Редактори і рецензенти зможуть сконцентруватися на науковій значущості роботи, не відволікаючись на мовні помилки. Більш того, грамотно написаний і правильно структурований рукопис може вийти в друк швидше.

Відформатуйте свою статтю

Ваша стаття повинна бути не тільки грамотно написана, а й належним чином відформатована.

Приймається більшість текстових форматів, проте перевага віддається форматам `rtf`, `doc`, `docx` або `LaTeX`.

В процесі обробки вашої статті більшу частину форматуючих кодів прибирають або замінюють, тому не варто витратити час на зайву стилізацію свого тексту. Краще уникати таких видів форматування, як автоматичний перенос слів, вирівнювання, подвійні колонки і автоматична нумерація параграфів (особливо для пронумерованих посилань)

Можна використовувати жирний, похилий, підрядковий, нарядковий і інші види шрифтів. Якщо при побудові таблиць ви використовуєте готову сітку, використовуйте одну сітку для кожної окремої таблиці, а не для кожного ряду. Якщо ви не використовуєте готову сітку, вирівняйте стовпці за допомогою клавіші пробілу.

Ілюстрації

Включення ілюстрацій, малюнків, таблиць та іншого візуального матеріалу (наприклад, мультимедійні та додаткові файли в електронному форматі) допоможе видавцеві уявити вашу роботу в найкращому вигляді і забезпечить точність, ясність і деталізованість вашої роботи.

Напишіть супровідний лист

Кожна заявка на публікацію наукової роботи повинна супроводжуватися листом, в якому повинно бути зазначено, яку роботу ви хочете опублікувати і чому ви хочете опублікувати її саме в цьому журналі.

Ви повинні вказати:

Ім'я автора, якому видавець буде адресувати всю кореспонденцію (якщо авторів декілька, для цієї мети повинен бути вказаний лише один з них).

Електронна адреса, контактна адреса, телефон і факс (автор отримує PDF-підтвердження на свою електронну адресу).

Будь-яку інформацію, яка виступає в підтримку вашої заявки (наприклад, оригінальні дані або актуальність теми).

У супровідному листі не повинна наводитися інформація, яка міститься або повинна міститися в вашому рукописі. Наприклад, якщо ви подаєте заявку на публікацію в медичний журнал, то в своєму рукописі ви повинні вказати, що ви отримали згоду на публікацію даної роботи від усіх пацієнтів, що мають відношення до вашого дослідження.

3.5 Відмінні риси академічної англійської мови

Написання назв статей, анотацій та резюме англійською мовою є обов'язковою вимогою публікацій у вітчизняних академічних виданнях. І це зрозуміло, оскільки первинну (і часто єдину) інформацію про дослідження в своїй сфері знань науковці всього світу одержують саме з англійських рефератів, анотацій, резюме. Володіння навичками академічного викладу англійською мовою підвищує імідж науковця та міжнародний престиж його організації (навчального закладу).

Щоб якісно написати анотацію і резюме англійською мовою, недостатньо знати нормативну граматику та загальновживану лексику. Автор має добре володіти термінологією своєї галузі, знати лексико-стилістичні особливості англійської наукової літератури, уміти, при потребі, користуватися онлайн-словниками.

Розмовна англійська проти академічної

Справа в різниці між двома сестрами – розмовна англійська та її академічний варіант. Вони схожі, але далеко не близнюки. **Classroom English** (англійська мова, яка викладається в школі / університеті) багато в чому відрізняється від **Real Spoken English** (жива розмовна англійська). З останньою ми стикаємося, коли спілкуємося з носіями мови – людьми, для яких англійська мова є рідною. Спілкування з іноземцями з неанглійських країн простіше: вони так само, як і ви, вчили англійську в школі.

3.6 Складання анотації

Анотація повинна підсумовувати мету проблеми або дослідження, метод, результати і висновки вашого дослідження. Анотація дозволяє виділити основну інформацію по кожному розділу вашої статті і зазвичай обмежується 200 словами. Анотація повинна містити достатню кількість подробиць, щоб читач міг вирішити,

чи варто читати статтю далі. Назва і анотація повинні бути незалежними один від одного, тому що вони включаються в індексні каталоги. В анотації слід обійтися без посилань, схем і таблиць. У вас є 200 слів, щоб описати своє дослідження – так використовуйте їх з розумом. Багато авторів пишуть анотацію в останню чергу, щоб вона точно відображала зміст статті. Постарайтеся зробити свою анотацію цікавою, проте не забувайте про точність і доречність. Не попадіться в пастку, коли в анотації є обіцянки, яким сама стаття не відповідає.

Існують наступні вимоги до структури та змісту анотації:

Інформативність і змістовність. Анотація повинна в узагальненому вигляді представляти зміст статті. У тексті анотації не варто використовувати загальні фрази, а також вказувати несуттєві деталі й загальновідомі положення. Передісторія (історія питання) може бути наведена тільки в тому випадку, якщо вона прямо пов'язана з розкриттям мети дослідження.

Оригінальність. Слід уникати прямих повторів будь-яких фрагментів роботи. Назва статті не повинна дублюватися в тексті анотації.

Чіткість, логічність і зв'язність викладу.

Компактність. Обсяг анотацій до статей, що подаються в журнал, повинен становити від 100 до 250 слів.

В анотації повинні бути представлені наступні аспекти змісту статті:

предмет, тема, мета роботи (вказуються в тому випадку, якщо вони не ясні із заголовка статті);

метод або методологія (їх доцільно описувати в тому випадку, якщо вони відрізняються новизною або представляють інтерес з точки зору даної роботи);

результати роботи (перевага віддається новим результатам і даним довгострокового значення, важливим відкриттям, висновкам, які спростовують існуючі теорії, а також даним, які, на думку автора, мають практичне значення);

висновки (вони можуть супроводжуватися рекомендаціями, оцінками, пропозиціями, гіпотезами, описаними в статті).

Не рекомендується:

- включати в анотацію таблиці, малюнки, схеми, діаграми і формули;
- наводити посилання на номери публікацій з пристатейного списку літератури;
- використовувати скорочення та умовні позначення, крім загальновживаних. Якщо скорочення все ж вводяться, то при першому вживанні необхідно дати їх розшифровку.

3.7 Написання заголовків

Заголовок завжди є структурним елементом тексту. Він дозволяє в короткій (стислій) формі відобразити тематику документа, а нерідко і його головну ідею.

Заголовок повинен чітко відповідати тексту, бути логічно повноцінним і досить коротким.

Заголовок пишеться великими літерами. Він має бути не довшим ніж 40 знаків. Не бажано у заголовку переносити слова. Якщо заголовок великий, то його ділять (за змістом) на декілька рядків.

У документах заголовок пишеться з маленької літери тоді, коли він розташований після назви виду документа, а з великої літери, якщо передує їй.

Текст від заголовка пишеться через 3-4 інтервали. Розміщується заголовок посередині рядка або на початку рядка від межі лівого поля. Крапка після заголовка не ставиться. Не слід писати заголовок у кінці сторінки, якщо немає місця для тексту, краще перенести його на наступну сторінку.

Короткі заголовки пишуться з проміжком в один знак між літерами в межах одного слова.

3.8 Вибір ключових слів

Більшість журналів вимагає наявності списку ключових слів. Це список важливих слів, які характеризують дане дослідження (крім тих слів, які згадані в назві). Оскільки ключові слова використовуються в реферативних і індексних покажчиках, правильний вибір ключових слів збільшує ймовірність того, що вашу статтю знайдуть інші вчені. Багато журналів, які співпрацюють з видавництвом Elsevier, також вимагають, щоб автори вибрали предметну категорію, до якої можна віднести тему їх дослідження. За допомогою такої класифікації редактори підбирають рецензентів.

3.9 Процес підготовки статті для подачі в міжнародний журнал

Вибір журналу

Загальні критерії міжнародних рейтингових журналів:

- конкурентне середовище – журнали публікують невеликий відсоток найкращих статей;
- участь в рейтингах – забезпечує конкурентне середовище;
- безкоштовна публікація (символічна плата для журналів з високим рейтингом) – рейтингові журнали отримують прибуток від продажу журналів, не з грошей авторів. Якщо вам пропонують заплатити за публікацію, будьте обережні, наведіть довідки через Google;
- подвійне сліпе рецензування (double-blind peer review) – рецензенти не мають абсолютно ніякої інформації про автора і навіть про кількість авторів. Автор не знає і ніколи не дізнається імена рецензентів.

Рейтинги та індекси

Для природничих наук: SCImago, Scopus.

Для економічних наук: RePEc Journal Ranking, EconLit, AgEcon Search, Kelee List, Handelsblatt Ranking.

Чим вище рейтинг – тим вище вимоги до публікації і менше ймовірність опублікуватися. Як правило, вибрати відповідний рівню публікації журнал вдається після відмови в публікації в іншому журналі.

Підготовка статті

Орієнтація на вплив / наслідки / результат – прочитавши анотацію, головний редактор задається питанням: Ну і що? Якщо наслідки застосування результатів дослідження дійсно значні, то він зацікавлюється в публікації.

Структура – кожен журнал має свої вимоги до структури статті та оформлення. Ці вимоги значно відрізняються від вимог ВАК.

Час – написання статті в рейтинговому журналі займає набагато більше часу, ніж стандартної статті в журналі ВАК. Рецензенти вимагають досконалості, і процес ревізії (revision) може займати колосальний обсяг часу і тривати кілька років. На написання однієї зі статей у автора цих рекомендацій пішло більше 2000 годин (9 місяців).

Англійська мова – чим значніше наукове відкриття, тим менше уваги рецензенти і редактори звертають на мову. Для природничих наук використання мови може бути символічним. Результати достатньо представити математично, в таблицях та графіках. Для гуманітарних наук вимоги до мови досить високі, необхідна коректорська вичитка. Однак є журнали в низах рейтингів, які допускають деякі мовні недоліки.

Мотивація

Мотивація – це особиста справа кожного автора, але її потрібно багато для інвестування тонни часу в те, успіх чого не гарантовано. Тут необхідно вбивати двох, а краще кількох зайців одразу. Для молодого вченого мотивація може бути наступна:

- участь у грантах та різних міжнародних програмах;
- доведення результатів дослідження до рівня, який може використовуватися у вітчизняній або зарубіжній комерційній сфері як нова технологія;
- захист прав інтелектуальної власності потенційно прибуткових винаходів;
- наявність достатньої кількості публікацій у рейтингових журналах відкриває додаткові можливості професійного розвитку;
- остання, але важлива – задоволення особистих амбіцій.

3.10 Створення власної бібліографічної бази даних за допомогою EndNote Online

EndNote – комерційна система управління бібліографічною інформацією, що дозволяє завантажувати та формувати посилання за численними стандартами цитування; найпотужніший дослідницький і довідковий менеджер на ринку від компанії-виробника – **Clarivate** (раніше – **Thomson Reuters**).

Основні завдання EndNote

1. Створення власної бібліотеки посилань:

- завантажте посилання з каталогу та баз даних,
- згенеруйте посилання з файлів PDF,
- організуйте свої посилання в групах,
- додайте ключові слова, мітки та примітки,
- шукайте та сортуйте свої посилання,
- знаходьте та додавайте повні текстові файли PDF.

2. Можливість вставляти цитати або виноски та створювати бібліографію:

- вкладіть текстові цитати або виноски у свої документи,
- створіть бібліографію,
- виберіть із тисяч стилів цитат, таких як APA, Чикаго або Гарвард,
- легко змінюйте стилі цитування,

3. Співпраця з колегами та науковцями:

- використовуйте EndNote Online, щоб поділитися своїми посиланнями.

Який EndNote обрати?

EndNote доступний для Windows (DESKTOP) та ONLINE, що дозволяє додавати ресурси до EndNote з будь-якого пристрою та синхронізувати вміст, завантажений в Інтернеті, з бібліотеками на робочому столі.

EndNote Desktop є автономним повним пакетом програм для персонального комп'ютера, зберігає вміст локально і таким чином може використовуватися без підключення до Інтернету.

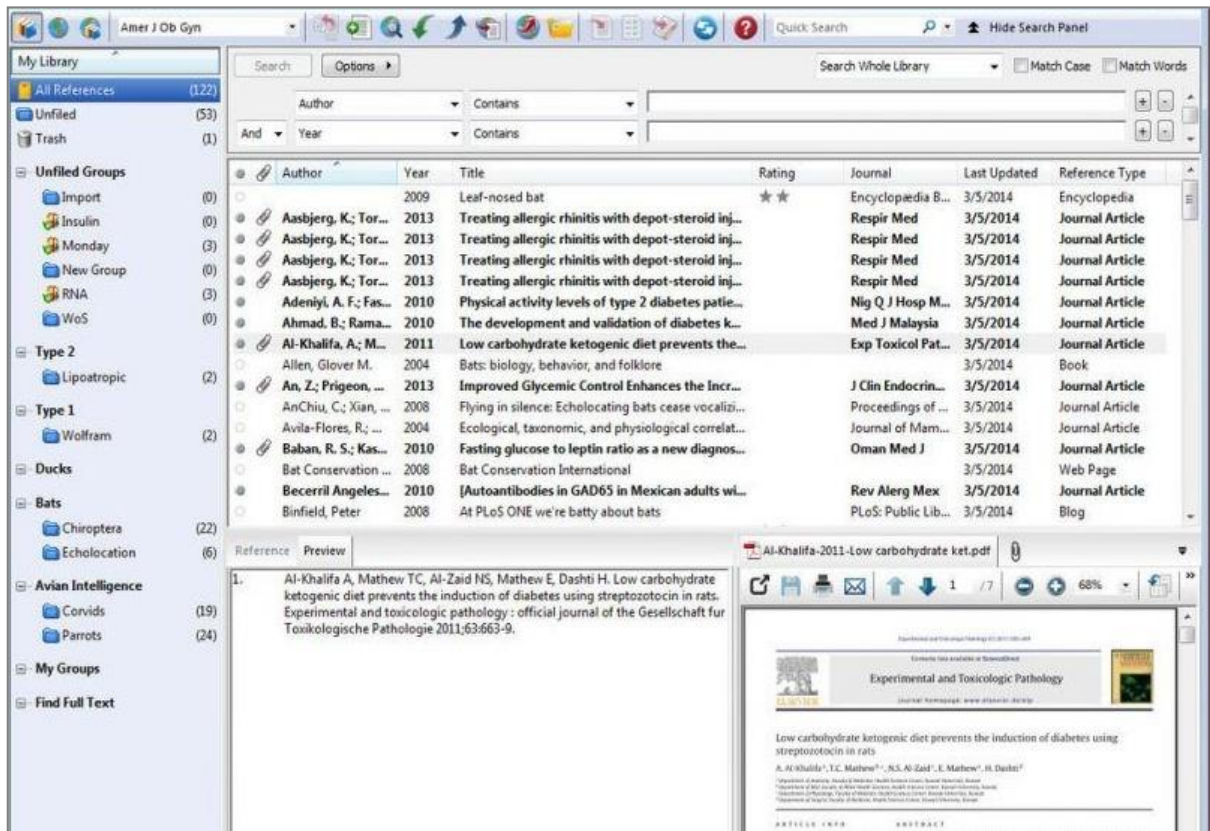


Рисунок 2.1 – Діалогове вікно EndNote Desktop

EndNote Desktop дозволяє:

1. Працювати зі списками в **Word**.

EndNote працює з **Microsoft Word** для вставки цитат в документи, форматує цитати та бібліографію у визначеному стилі. Стилi можуть включати виноски та нумерацію.

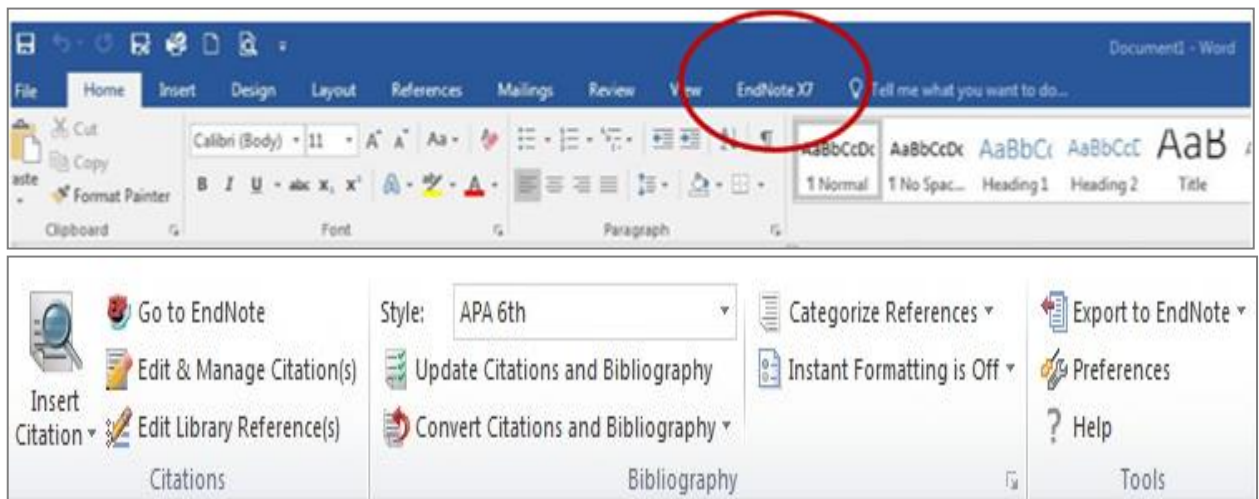


Рисунок 2.2 – Діалогове вікно Microsoft Word

2. Редагування цитат та бібліографії.

Цитати можна відредагувати, натиснувши цитату та вибравши **Edit & Manage Citation(s)** (Редагувати та керувати цитатами) на вкладці **EndNote tab** (Кінцевий звіт). Цитати будуть обрані у вікні цитування в документі. Неможливо редагувати цитати, набравши цитату, оскільки редагування втрачаються кожного разу, коли EndNote переформатує список довідників.

3. Додавати окремо бібліографію.

Список документів у форматі може бути доданий до вашого документа без використання EndNote для вставлення цитат.

4. Миттєве форматування.

Миттєве форматування дає змогу переглядати список посилань (бібліографію), які ви вставляєте цитати. Якщо ви пишете довгий або складний документ, такий як дисертація, рекомендується відключити миттєве форматування, оскільки це може зайняти багато часу для переформатування кожного разу, коли вставляється нова цитата. Коли ви закінчите писати документ або бажаєте побачити проект, натисніть **Update Citations and Bibliography** (Оновити бібліографію), щоб відформатувати цитати та список посилань. Щоб продовжити роботу над документом, не формувати цитати за допомогою параметра **Convert Citations and Bibliography** (Конвертувати посилання та бібліографію).

EndNote Online (раніше EndNote Web) – це веб-версія EndNote. У порівнянні з настільною версією EndNote Desktop, EndNote Online має аналогічну, але більш обмежену функціональність.

EndNote Online забезпечує:

- доступ до бібліотек EndNote з будь-якого місця,
- синхронізацію бібліотек EndNote для настільних комп'ютерів, щоб працювати між комп'ютерами,
- збирання та управління посиланнями,
- створення бібліографій та цитат в Microsoft Word за допомогою функції **Cite While You Write**,
- обмін посиланнями та бібліографією з іншими користувачами EndNote.

Типи облікових записів EndNote Online

Якщо ви створюєте свій акаунт через:

EndNote Online : <http://www.myendnoteweb.com/>, ви матимете доступ до безкоштовної версії EndNote Online, яка називається **EndNote Basic** , з обмеженими можливостями.

За допомогою **Web of Science** ви отримуєте доступ до більшого обсягу пам'яті та функцій.

Якщо ви синхронізуватимете бібліотеку EndNote Online із настільною версією EndNote, ви отримаєте доступ до повної версії EndNote Online, що містить необмежений простір пам'яті.

3.11 Сортування записів, створення груп і управління доступом до них

Сортування звіту

Відкрийте звіт у режимі розмічування або конструктора.

Якщо область групування, сортування й підсумок не відкрито, у групі групування & підсумки (на вкладці Формат у режимі розмічування), або на вкладці «Конструктор» у режимі конструктора, виберіть групу & сортування.

Виконайте одну з таких дій:

Якщо звіт не згруповано й не відсортовано, натисніть кнопку «Додати групу» в області групування, сортування й підсумок, а потім виберіть зовнішнє поле сортування. Клацніть другу стрілку розкривного списку та виберіть, яке замовили значення. Натисніть кнопку «Додатково», а потім клацніть стрілку праворуч від заголовка розділу та виберіть пункт без розділу верхнього колонтитула. Повторіть ці кроки для кожного поля сортування.

Якщо звіт це групування або сортування, перегляньте наявні рівні та внесіть зміни уважно. Щоб змінити поля, зробіть це за допомогою першої стрілки розкривного списку. Щоб змінити порядок, виберіть другу стрілку розкривного списку. Щоб змінити рівень групування, сортування, змініть "з розділом верхнього колонтитула" на "без розділу верхнього колонтитула".

Сортування таблиці, запиту або форми

Визначення полів, за яким потрібно виконати сортування. Сортування за двома або більше полями, визначення полів, які будуть виступати в внутрішніх й зовнішніх полях сортування.

Клацніть правою кнопкою миші будь-де у стовпці або елемент керування, що відповідає внутрішньому полю та виберіть одну з команд сортування. Команди залежать від типу даних, які є у виділеному полі.

Сценарії додаткового сортування

Під час використання команд сортування, тип даних поля та виконання значення для кожного поля використовуються для визначення порядку записів. А що робити, якщо ви хочете застосувати текстові значення, наприклад, понеділок, вівторок і так далі, відсортовані в настроюваному порядку, а не в алфавітному порядку? Або, якщо потрібно відсортувати текстове поле, що містить IP-адрес? Якщо командами сортування не виконується сортування за вашими потребами, інформацію можна знайти в таких розділах:

1. Сортування записів на основі часткових значень у полі

Потрібно виконати сортування записів на основі кількох початкових або останніх кількох символів у полі? Якщо ви вмієте писати прості вирази,

відображається цей розділ, який пояснює, як використовувати вирази для знаходження значень із частковим збігом.

2.Порядок сортування записів з урахуванням реєстру

Пропускається реєстр текстових значень. Наприклад, значення "смоленко" та "Смоленко" вважатиметься точно так само, і ви не можете контролювати відображення першого. Перегляньте цей розділ, якщо потрібно виконати сортування з урахуванням реєстра.

3.Сортування записів за числовими значеннями, збереженими в текстовому полі

Ви бачите записи, відсортовані за окремими цифрами, а не за числовими значеннями? Якщо, наприклад, записи зі значеннями 11 і 121 відображаються перед записами зі значеннями, 2 або 25, прочитайте цю статтю.

4.Сортування записів у настроюваному порядку

Якщо потрібно виконати сортування певних значень, наприклад назви днів (понеділок, вівторок тощо) або працівника (диспетчер, директор) для того, щоб було зрозуміле ім'я, перегляньте цю статтю.

Видалення порядку сортування

Щоб видалити порядок сортування з таблиці, запиту або форми, на вкладці "основне" у групі "сортування & фільтр" натисніть кнопку "Очистити всі сортування".

Порядок сортування буде видалено з всіх полів в поданні.

Щоб видалити порядок сортування зі звіту, відкрийте область "групування, сортування й підсумок", натиснувши кнопку "Група & сортування" у групі "групування & підсумки" (на вкладці "Формат" у режимі розмічування, на вкладці "Конструктор" у поданні конструктора). Потім виберіть рівень сортування, який потрібно видалити і натисніть кнопку "Видалити". Запис відповідного поля сортування починатиметься зі слова "Сортувати за". Уникайте видалення записів, які починаються з групи, оскільки це змінить макет звіту.

Зберегти порядок сортування з об'єктом

На останній застосований порядок сортування буде автоматично збережено з таблиці, запиту, форми або звіту. Якщо потрібно, воно автоматично застосовується під час наступного відкриття об'єкта, переконайтеся, що OrderByOnLoad властивість об'єкта має значення "так".

Після того, на останній застосований порядок сортування буде змінюватись час від часу, ви можете визначати постійний (або за замовчуванням) порядок сортування. Ви можете вказати порядок сортування за замовчанням для запиту або звіту. Найважливіше, зверніть увагу – це, хоча порядок сортування за замовчанням не буде замінено, порядок сортування поточний або останній

збережений, настане чинності лише тоді, коли порядок сортування поточний або останній збережений буде видалено з подання.

Щоб визначити порядок сортування за замовчанням для запиту, відкрийте його в режимі конструктора. Додати сортування поля до бланка та у рядку сортування вкажіть потрібний порядок.

Щоб визначити порядок сортування за замовчуванням для звітів, використовуйте область групування, сортування й підсумок у поданні макета або Конструктор. Крок за кроком відомості можна знайти в розділі сортування звіту.

3.12 Використання шаблонів оформлення бібліографії

Оформлення

Бібліографічний опис в українських статтях здійснюється за ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання».

Цей стандарт установлює види бібліографічних посилань, правила та особливості їхнього складання й розміщування у текстах. Бібліографічне посилання, що є частиною довідкового апарата документа, наводять у формі бібліографічного запису.

Бібліографічні відомості про цитовані або згадувані в тексті документи на будь-яких носіях інформації, що є об'єктами бібліографічного посилання, мають бути достатніми для їхньої загальної характеристики, ідентифікування та пошуку.

У заголовку бібліографічного запису подають відомості про одного, двох чи трьох авторів, при цьому імена цих авторів у відомостях про відповідальність (за навкісною ризикою) не повторюють.

Панько Т. І., Кочан І. М., Мацюк Г. П. Українське термінознавство. Львів, 1994. 216 с.

Замість знака «крапка й тире» («. —»), який розділяє зони бібліографічного опису, у бібліографічному посиланні рекомендовано застосовувати знак «крапка».

Козик В. В., Панкова Л. А., Даниленко Н. Б. Міжнародні економічні відносини. 3-тє вид., перероб. і допов. Київ: Знання-Прес, 2002. С. 245.

Дві навкісні ризики («//») можна замінювати крапкою, а назву виділяти шрифтом (курсивом).

Россоха В. В. Соціально-економічні аспекти використання господарського комплексу Державної кримінально-виконавчої служби. Формування ринкових відносин в Україні. 2015. № 8, С. 69-75

Бібліографічне посилання на електронний ресурс віддаленого доступу дозволено зазначати тільки електронну адресу, використовуючи аббревіатуру «URI» «URL».

У тексті:

Кодекс етики ІФЛА для бібліотекарів та інших інформаційних працівників: затверджено Радою ІФЛА у серпні 2012 р./ пер. з англ. В. С. Пашкова *.

У підрядковому посиланні:

URL: <http://ula.org.ua/ua252-dokumenti/dokumenti-ifla-ta-in> (дата звернення: 20.10.2016).

3.13 Використання модуля Cite-While-You-Write для Microsoft Word

Cite-While-You-Write™ в Microsoft Word і створення списку літератури безпосередньо при написанні тексту.

Використовуйте додатковий модуль Cite While You Write в EndNote Web, щоб додавати записи в бібліографію безпосередньо під час написання в Word.

Виконайте пошук посилань і вставте їх в свою наукову роботу.

Форматування бібліографії.

Щоразу, коли ви знаходите і вставляєте цитату в свій документ, відбувається одночасне форматування бібліографії відповідно до обраного стилю. Доступні тисячі стилів уявлення бібліографії.

Редагуйте цитату (-и).

Для додавання або видалення інформації, що міститься в них, додавайте або видаляйте цитати, або ж змінюйте порядок цитат в групі.

Модуль Cite While You Write з EndNote Web, з EndNote або з двома інструментами на вашому комп'ютері.

Документи, створені за допомогою Cite While You Write в EndNote Web також сумісні з EndNote на вашому комп'ютері. Роботу з документом можна почати з допомогою EndNote на вашому комп'ютері, після чого додати цитати з бази даних в EndNote Web, і цитати з бібліографією будуть негайно відформатовані і оновлені. У меню Preferences можна вибрати панель інструментів Cite While You Write для Endnote на вашому комп'ютері або EndNote Web.

Створення бази даних.

Експорт даних.

Під час пошуку даних в ISI Web of Knowledge результати можна зберегти безпосередньо в базі даних EndNote Web, натиснувши кнопку «Save to EndNote Web». Всю інформацію, збережену в базі даних EndNote Web, буде відображено з піктограмою (значком) EndNote Web, вказуючи на те, що ці матеріали вже збережені в базі даних.

Пошук в Інтернеті

Для здійснення пошуку виберіть вкладку «Collect», після чого натисніть «Online Search». Ви можете проводити пошук в ресурсах ISI Web of KnowledgeSM, PubMed® та безлічі інших бібліотечних каталогів і бібліографічних баз даних безпосередньо через EndNote Web.

Самостійне додавання записів.

Ви також можете самостійно додавати записи в базу даних. Натисніть «New Reference» в вкладці «Collect», виберіть тип запису і введіть бібліографічні дані в усі відповідні поля.

Імпорт записів.

Додати записи в базу даних можна також за допомогою їх імпортування як простий текстовий файл. Натисніть «Import References» в вкладці «Collect», щоб знайти і обрати текстовий файл, оберіть відповідний фільтр для імпортування, після чого натисніть кнопку «Import».

Питання для самоперевірки:

1. *Які функції можна виконувати за допомогою модуля Cite While You Write з EndNote Web?*
2. *Поясніть що враховує кожен з цих показників - індекс цитування, індекс Хірша та імпакт-фактор?*
3. *Назвіть основні сценарії додаткового сортування за допомогою EndNote Online.*
4. *Назвіть основні завдання EndNote.*
5. *Навіщо потрібно приділяти увагу правильному вибору ключових слів? На що це може вплинути?*
6. *Якою може бути мотивація написання статті для молодого вченого?*
7. *Назвіть основні помилки або недоліки в оформленні статті, які можуть стати причиною відмови в публікації статті.*
8. *Які існують вимоги до структури та змісту анотації?*
9. *Які основні функції виконує рецензування?*
10. *Назвіть загальні вимоги до наукової публікації?*

Практичне завдання:

Написати фахову або міжнародну статтю за темою кваліфікаційної роботи. Із теоретичними відомостями та прикладом статей можна ознайомитись у додатках А та Б.

РОЗДІЛ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИПРОБУВАННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ АПАРАТІВ

План:

- 4.1 Дослідження у теплотехніці та гідроенергетиці
- 4.2 Прилади що використовуються при проведенні досліджень в теплоенергетиці
- 4.3 Випробування теплотехнічних апаратів
- 4.4 Періодична атестація випробувального устаткування
- 4.5 Обробка експериментальних даних по створенню теплоізоляційних матеріалів

Мета вивчення розділу: формування уявлення щодо сутності та основних завдань дослідження у теплотехніці, ознайомлення із основними питаннями випробування теплотехнічних апаратів та періодичної атестації устаткування, розгляд методів обробки експериментальних даних за темою дослідження.

Ключові поняття: теплотехнічні апарати, випробування, модель випробовуваного об'єкту, обробка результатів випробування, випробувальна організація, атестація методики випробувань.

4.1 Дослідження у теплотехніці та гідроенергетиці

Серед основних подій життєвого циклу теплотехнічних апаратів (як об'єкту дослідження) займають випробування. В процесі виробництва теплотехнічних апаратів проводиться велика кількість різних по складності випробувань, починаючи з найпростіших - контрольних, потім лабораторних, стендових і нарешті до найскладніших - виробничих.

По мірі підвищення вимог до характеристик апаратів і пов'язаного з цим їх технічного ускладнення роль випробувань ставатиме усе більш значною. При цьому вартість випробувань і тривалість проведення стають такими, що визначають в загальних витратах і термінах. Тому вирішення основної проблеми скорочення термінів створення і вартості розробки теплотехнічних апаратів зводиться в основному до раціональної організації процесу її експериментального відпрацювання. Для вирішення цієї задачі необхідно проводити оптимальне планування випробувань.

На даний час можна з певною мірою упевненості говорити, що розроблені і існуючі теоретичні основи оптимального проектування технічних систем, що дозволяють обирати найкращі конструктивні параметри, закони керування і інші характеристики систем. Але, на жаль, ще відсутня прийнятна теорія випробувань,

що дозволяє оптимізувати ці вельми важливі етапи життєвого циклу теплотехнічної системи.

Питання про створення найближчими роками теорії випробувань складних теплотехнічних систем є проблематичним. Випробування в цілому є вельми складним процесом, що характеризується величезною різноманітністю вирішуваних задач, багаторівневих етапів випробувань, неоднорідністю інформаційних потоків, циркулюючих в самій системі випробувань, різноманітним оцінюваним характеристикам і т.д.

Сенс випробувань зводиться до того, що визначаються конкретні задачі, які вирішуються з використанням інформації, отриманої в процесі проведення випробувань. Такими задачами можуть бути доопрацювання системи, уточнення її математичної моделі, контроль стану, діагностика, оцінка характеристик надійності і так далі. Тому можна говорити про випробування, пов'язані з доопрацюванням системи і уточненням її математичної моделі, про випробування в цілях контролю і т.п.

Основна мета випробувань полягає в здобутті інформації про стан випробовуваного апарату. Ця інформація надалі може використовуватися для вирішення самих різних задач.

У будь-якому випробуванні можна виділити наступні чотири фази:

- 1) планування випробування;
- 2) його проведення;
- 3) обробка результатів випробувань;
- 4) аналіз отриманих результатів і обробку рішення.

Планування є найважливішим етапом виконання будь-яких робіт і дій. В результаті планування має бути отримана відповідь на питання: що, коли і як робити. Планування передуює організації і проведенню робіт. Планування характерне для всіх цілеспрямованих дій і пов'язане, по суті, з попереднім ухваленням рішень.

Планування починається із з'ясування цілей і завдань, які необхідно досягти і вирішити в процесі виконання даної операції (сукупності цілеспрямованих дій системи). Потім розробляється комплекс заходів, правил вибору засобів дій, направлених на досягнення і вирішення поставлених перед системою цілей і задач. При цьому передбачається і вирішення питань, пов'язаних з розподілом і використанням матеріальних, часових, фінансових і людських ресурсів. Природною є вимога, аби план функціонування системи був в якомусь сенсі найкращим, оптимальним.

Система випробувань в загальному випадку є організаційною системою. Основні її елементи - люди, випробовувані об'єкти, випробувальне устаткування з відповідним математичним забезпеченням.

На етапі планування випробувань складається програма, яка повинна включати мету і задачі випробувань, опис об'єкту випробувань, порядок їх

проведення і забезпечення, об'єм, послідовність і методики випробувань, порядок обробки отриманих результатів, форму і порядок звітності.

Програма випробувань повинна створюватися паралельно із створенням об'єкту. Більш того, в конструкції об'єкту, в його компоновці мають бути враховані вимоги, що висуваються випробуваннями. При проектуванні об'єктів паралельно повинні здійснюватися проектування і створення спеціального випробувального устаткування.

Проведення випробувань пов'язане з реалізацією програми випробувань. Випробувачі мають бути готовими до необхідності вироблення і ухвалення обґрунтованого оперативного рішення для корекції програми або компенсації впливу обурюючих дій. Як правило, оптимальність цих заходів значною мірою визначається наявністю часових, людських і матеріальних резервів (випробовувані об'єкти, випробувальне устаткування), які мають бути передбачені на етапі планування випробувань.

Між етапами обробки і аналізу результатів випробувань не завжди можна провести чітку границю. Деколи розділення цих етапів є вельми умовним і багато в чому визначається характером випробувань і складністю випробовуваного об'єкту. Загальним для обох етапів є те, що на них здійснюється перетворення інформації. На етапі проведення випробувань інформація добувається, на двох подальших етапах вона обробляється.

У багатьох випробуваннях етап обробки отриманих результатів можна пов'язати з попередньою їх обробкою, при якій здійснюється попереднє усереднювання даних, виключення з обробки аномальних вимірів і так далі. У загальному випадку під первинною обробкою можна розуміти процес здобуття і інтерпретації статистичних характеристик результатів прямих вимірів, що отримуються при випробуваннях. Такими характеристиками можуть бути математичні очікування, дисперсії, середньоквадратичні відхилення, кореляційні моменти або функції, закони розподілу, показники, що відображають властивості точкових і інтервальних оцінок статистичних характеристик і так далі. Всі ці характеристики можуть бути представлені у виді масивів чисел в пам'яті ЕОМ, таблиць, графіків.

Отримані таким чином результати первинної обробки використовуються на етапі аналізу для вирішення завдань вторинної обробки. При вторинній обробці знаходяться оцінки випробувачів, характеристик і параметрів об'єкту або процесу його функціонування, що цікавлять, і розробляються рішення. Зазвичай ці характеристики і показники пов'язані з вимірюваними змінними відомими співвідношеннями. При вторинній обробці ці співвідношення використовуються для знаходження шуканих величин. Прикладами таких величин можуть бути показники надійності або ефективності функціонування, структура і параметри математичної моделі об'єкту і т.д.

За результатами вторинної обробки з врахуванням вимог, що пред'являються до характеристик об'єкту, випробувачі рекомендують замовникові ті або інші рішення.

Інколи випробувальний режим об'єкту поєднується з робітником. У цих умовах розрізняють оперативну і повну обробку інформації. Як оперативна, так і повна обробка включає первинну і вторинну обробки. В цьому випадку важко виділити в часі етапи збору і аналізу результатів випробувань. Етап аналізу завершується розробленням рішення, тобто обґрунтованих пропозицій керівникам випробувань, які враховують ці пропозиції при ухваленні рішень.

Теорія випробувань вивчає закономірності побудови і функціонування системи випробувань. Основні проблеми цієї теорії пов'язані з розробкою і дослідженням моделей об'єктів, засобів і процесу випробувань.

В даний час в основу планування будь-якої операції, як правило, закладається принцип оптимальності. Для реалізації цього принципу необхідно мати показник ефективності функціонування системи і модель. При вирішенні задач планування роботи складних систем, якою є система випробувань, доводиться використовувати математичну модель. У зв'язку з вказаним вище на етапі планування випробувань слід в першу чергу обрати і обґрунтувати показники і критерії ефективності випробувань, а також побудувати математичну модель випробувань. Дана проблема є досить складною, і поки що належного освітлення в технічній літературі не отримала. Крім того, на цьому етапі має бути побудована математична модель і випробовуваного об'єкту.

Модель випробовуваного об'єкту використовується для визначення і обґрунтування видів, об'ємів і послідовності випробувань, для вибору вимірюваних і контрольованих змінних і параметрів, для обґрунтування виду і характеристик тестових сигналів і т.д.

Методи вирішення перерахованих задач значною мірою визначаються типом моделі і об'ємом наявної інформації про характеристики об'єкту.

На етапі планування випробувань, окрім перерахованих, вирішується маса інших технічних, організаційних проблем і задач, до яких можна віднести: збір інформації і обґрунтування методів її обліку в процесі проведення випробувань і обробки їх результатів; визначення форм звітної документації; попередній вибір методів обробки інформації, що отримується при випробуваннях; підготовка варіантів ухвалення рішень при типових ситуаціях.

При проведенні випробувань починається реалізація їх програми, здійснюється збір інформації про випробовуваний об'єкт і його функціонування. Сповна природною є вимога здобуття максимуму інформації при витраті обмежених матеріальних і тимчасових ресурсів. В процесі випробувань в основному вирішуються організаційні питання. Система випробувань при цьому функціонує як деяка система управління виробничою і організаційною діяльністю

колективів людей. З цих позицій процес виконання випробувань може розглядатися як система організаційно-технічного управління.

Багато проблем, що виникають при дослідженні системи випробувань, пов'язано з наявністю в цій системі людей. Функції людей при випробуваннях можуть бути вельми різноманітними (від оператора до керівника випробування). Побудова моделі поведінки кожної людини і всієї організаційно-технічної системи - вельми складна задача, вирішення якої неможливе без залучення зусиль фахівців різних напрямів.

Для випробувань, як правило, характерні динамічність, обмеженість часових ресурсів, оперативність. В той же час, як вже було відмічено вище, оптимальна запланована програма випробувань на практиці безперервно обурюється. У цих умовах ефективною є та система випробувань, яка вчасно компенсує вплив обурюючих дій або корегує програму випробувань за рахунок вироблення оперативних управлінських рішень.

Проблеми, що вирішуються на етапах обробки результатів вимірів, пов'язані з вибором математичних моделей об'єкту випробувань, тракту передачі і обробки вимірювальної інформації, з обґрунтуванням оптимальних методів обробки інформації, відповідного математичного забезпечення обчислювальної техніки і засобів відображення інформації і т.д.

На етапі аналізу і здійснення рішення первинними задачами є визначення показників і критеріїв оцінки результатів випробувань, вибір методів ідентифікації, технічної діагностики, методів прогнозування технічного стану об'єкту.

Враховуючи, що об'єкти теплотехнології і їх системи в процесі розробки проходять ряд різних по складності взаємозв'язаних випробувань, планування їх має бути комплексним, яке охоплює повний цикл випробувань. Використовуючи такий підхід, представляється можливим визначити об'єм кожного випробування, встановити критерій його закінченості і готовності об'єкту для переходу до подальших випробувань.

4.2 Прилади що використовуються при проведенні досліджень в теплоенергетиці

Випробування - експериментальне визначення кількісних і якісних характеристик властивостей об'єкту випробувань як результату дії на нього при його функціонуванні, при моделюванні об'єкту або дій.

Експериментальне визначення характеристик властивостей об'єкту при випробуваннях може проводитися за допомогою вимірів, аналізів, діагностування, шляхом реєстрації певних подій при випробуваннях (відмови, пошкодження, теча) і т.д.

Характеристики властивостей об'єкту при випробуваннях можуть оцінюватися, якщо задачею випробувань є здобуття кількісних або якісних оцінок, а можуть контролюватися, якщо задачею випробувань є лише встановлення відповідності характеристик об'єкту заданим вимогам. В цьому випадку випробування зводяться до контролю. Тому ряд видів випробувань є контрольними, в процесі яких вирішується задача контролю.

Найважливішою ознакою будь-яких випробувань є прийняття на основі їх результатів певних рішень.

Іншою ознакою випробувань є задача певних умов випробувань (реальних або модельованих), під якими розуміється сукупність дій на об'єкт і режимів функціонування об'єкту.

Визначення характеристик об'єкту при випробуваннях може вироблятися як при функціонуванні об'єкту, так і за відсутності функціонування, за наявності дій, до або після їх застосування.

Об'єкт випробувань - апарат, що піддається випробуванням.

Залежно від його виду і цілей випробувань об'єктом може бути як одиничний апарат, так і технологічна система.

Головною ознакою об'єкту випробувань є те, що за результатами його випробувань приймається певне рішення по об'єкту - про його придатність, про можливість пред'явлення на наступні випробування, про можливість серійного випуску і ін.

Залежно від виду продукції і програми випробувань об'єктом випробувань може бути макет або модель, і рішення за результатами випробувань може відноситися безпосередньо до макету або моделі. Проте якщо при випробуванні апарату деякі елементи його доводиться для випробувань замінити моделями або окремі характеристики визначати на моделях, то об'єктом випробувань залишається сам апарат, оцінку характеристик якого отримують на основі випробувань моделі.

Модель для випробувань - виріб, процес, явище, математична модель, що знаходяться в певній відповідності з об'єктом випробувань або діями на нього і здатні замінювати їх в процесі випробувань.

Макет для випробувань є спрощеним відтворенням об'єкту випробувань або його частини, призначене для випробувань.

При таких випробуваннях на відміну від контролю передбачається дія на об'єкт випробувань різних чинників або режимів функціонування, які називаються умовами випробувань.

Умови випробувань - сукупність впливаючих чинників або режимів функціонування об'єкту при випробуваннях.

До умов випробувань відносяться зовнішні впливаючі чинники як природні, так і штучно створені, а також внутрішні дії, що викликаються тертям,

проходженням електричного струму та ін. і режими функціонування об'єкту, засоби і місце його установки, монтажу, кріплення, швидкість переміщення і т.п.

Зовнішні впливаючі чинники - це явища або процеси зовнішні по відношенню до апарату або його складових частин, які викликають або можуть викликати обмеження або втрату працездатності в процесі експлуатації.

У нормативних документах на методи випробувань вказуються значення впливаючих чинників, режими функціонування, які називаються нормальними умовами випробувань.

Нормальні умови випробувань - умови випробувань, встановлені нормативно-технічною документацією.

Приклад умов випробувань.

1. Умови випробувань.

2. Двигуни серійного виготовлення і дослідні зразки нових і модернізованих двигунів перед випробуваннями мають бути обкатані в об'ємі, встановленому технічною документацією на обкатку двигунів, затвердженою в установленому порядку. Двигуни, що були в експлуатації, обкатці не піддаються.

3. Випробування проводять переважно при температурі навколишнього повітря $283K < T < 313K$ ($10^{\circ}\text{C} < T < 40^{\circ}\text{C}$) при атмосферному тиску $80 \text{ кПа} < B < 110 \text{ кПа}$ (600 мм рт. ст. $< B < 825$ мм рт. ст.). Якщо температура і тиск виходять за вказані межі, їх наводять в протоколі випробувань і в звіті про результати випробувань. Випробування допускається проводити в приміщенні з кондиціонованим повітрям, де можливе регулювання умов, при яких проводять випробування (температури і тиски).

4. Температуру палива на вході в паливну систему дизеля підтримують в межах, встановлених в технічній документації виготівника, затвердженій в установленому порядку.

5. Випробування проводять на паливі і олії, встановлених в технічній документації виготівника, затвердженій в установленому порядку.

6. При проведенні випробувань температуру рідини, що охолоджує, і олії в двигуні підтримують в межах, вказаних в технічних умовах на двигун. За відсутності таких вказівок температуру рідини, що охолоджує, на виході з двигуна підтримують в межах $75-85^{\circ}\text{C}$, а температуру олії в межах $80-100^{\circ}\text{C}$.

7. При проведенні випробувань двигунів повітряного охолодження температуру навколишнього повітря підтримують в межах, вказаних в технічних умовах на двигун. За відсутності таких вказівок температура навколишнього повітря не повинна перевищувати плюс 40°C . Температура двигуна в точці, вказаній в технічних умовах на двигун, повинна підтримуватися в межах між максимальним значенням, вказаним в технічних умовах на двигун, і меншим на 20°C .

8 Для підтримки температур, встановлених п.п. 4, 6 і 7, може використовуватися, при необхідності, допоміжна система охолодження або автономний вентилятор.

9. При кожному випробуванні число точок вимірів має бути достатнім для того, щоб при побудові характеристик виявити форму і характер протікання кривої у всьому діапазоні обстежуваних режимів.

10. Показники двигуна можуть визначатися як при ручному, так і при автоматичному управлінні стендом. Показники двигуна повинні визначатися при сталому режимі роботи.

Примітка. Сталий режим роботи - режим, при якому момент, що крутить, частота обертання, температура рідини, що охолоджує, температура олії, а для двигуна повітряного охолодження і температура двигуна змінюються за час виміру не більше ніж на +2%.

11. Значення моменту, що крутить, частоти обертання і витрати палива повинні визначатися одночасно. У протокол вносять середнє арифметичне значення результату двох послідовних вимірів, які не повинні відрізнятися одне від іншого більш ніж на 2%.

12. При ручному управлінні стендом тривалість виміру витрати палива має бути не менше 30 с.

13. При визначенні робочих показників, умовних механічних втрат і рівномірності роботи циліндрів фіксують показники, перераховані в п. 2.

14. Після закінчення випробувань двигуна складають звіт (технічну довідку), в якому дають висновок про відповідність двигуна технічним умовам.

Випробування об'єктів проводяться відповідно до розроблених і затверджених програм і методик.

Програма випробувань - організаційно-методичний документ, обов'язковий до виконання, що встановлює об'єкт і цілі випробувань, види, послідовність і об'єм експериментів, що проводяться, порядок, умови, місце і терміни проведення випробувань, забезпечення і звітність по ним, а також відповідальність за забезпечення і проведення випробувань.

Програма випробувань повинна містити методики випробувань або посилань на них, якщо методики оформлені як самостійні документи.

Програма і методи випробувань можуть містити наступні розділи:

- сфера застосування;
- мета випробувань;
- об'єкти, періодичність, терміни проведення і організація випробувань;
- загальні умови випробувань;
- програма випробувань, що визначає об'єм випробувань і послідовність;
- методи конкретних випробувань, включаючи умови, об'єм, порядок оформлення результатів експериментів, що проводяться;
- оформлення результатів випробувань.

Методика випробувань - організаційно-методичний документ, обов'язковий до виконання, що включає метод випробувань, засоби і умови випробувань, відбір проб, алгоритми виконання операцій за визначенням однієї або декількох взаємозв'язаних характеристик властивостей об'єкту, форми представлення даних і оцінювання точності, достовірності результатів, вимоги техніки безпеки і охорони довкілля.

Методика випробувань по суті визначає технологічний процес випробувань і може бути оформлена самостійним документом, включена в програму випробувань або нормативний документ на продукцію (стандарти, технічні умови). Методика випробувань має бути атестована.

Атестація методики випробувань - визначення значень показників точності, достовірності або відтворюваності результатів випробувань і їх відповідності заданим вимогам, що забезпечують методикою.

Метод випробувань - правила вживання певних принципів і засобів випробувань.

Об'єм випробувань - характеристика випробувань, визначувана кількістю об'єктів і видом випробувань, а також сумарною тривалістю випробувань.

Випробування об'єкту, як і контроль, носять системний характер.

Система випробувань - сукупність засобів випробувань, виконавців і певних об'єктів випробувань, що взаємодіють по правилах, встановлених відповідною нормативною документацією.

Головною характерною ознакою будь-якої системи випробувань є наявність деякої організованої сукупності виконавців (організацій або окремих осіб), що мають в своєму розпорядженні необхідні засоби випробувань і випробувань, що взаємодіють з певними об'єктами, по встановлених правилах.

Засіб випробувань - технічний пристрій, речовина або матеріал для проведення випробувань.

Поняттям «Засіб випробувань» охоплюються будь-які технічні засоби, вживані при випробуваннях. Сюди відноситься, перш за все, випробувальне устаткування. У засоби випробувань включаються засоби вимірів як вбудовані у випробувальне устаткування, так і вживані при випробуваннях для вимірів тих або інших характеристик об'єкту або контролю умов випробувань. До засобів випробувань слід відносити також допоміжні технічні пристрої для кріплення об'єкту випробувань, реєстрації і обробки результатів.

До засобів випробувань відносяться також основні і допоміжні речовини і матеріали (реактиви і тому подібне), вживані при випробуваннях.

Випробувальне устаткування - засіб випробувань, що є технічним пристроєм для відтворення умов випробувань.

Для забезпечення точнісних характеристик, випробувальне устаткування повинно бути атестовано відповідно до ДСТУ.

Атестація випробувального устаткування - визначення нормованих точнісних характеристик випробувального устаткування, їх відповідності вимогам нормативних документів і встановлення придатності цього устаткування до експлуатації.

Як приклад розглянемо вимоги до випробувального устаткування для проведення стендових випробувань двигунів.

Виписка з ДСТУ:

Випробувальний стенд повинен мати устаткування для виміру наступних показників:

- частоти обертання колінчастого валу з точністю $\pm 0,5\%$;
- витрати палива з точністю $\pm 1\%$;
- температури всмоктуваного повітря з точністю $\pm 1^{\circ}\text{C}$;
- температури рідини, що охолоджує, з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- температури олії з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- температури палива з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- температури відпрацьованих газів з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (лише при приймальних випробуваннях);
- температури газу (в газових двигунів) з точністю $\pm 2^{\circ}\text{C}$;
- барометричного тиску з точністю ± 200 Па (2,0 мбар);
- тиски олії з точністю $\pm 3\%$ (лише при приймальних випробуваннях);
- кута випередження запалення або початку подачі палива з точністю $\pm 1^{\circ}$ повороту колінчастого валу;
- розрідження у впускному трубопроводі (лише при приймальних випробуваннях);
- тиски наддуву.

Примітка. Поняття «Випробувальний стенд» в різних галузях трактується по-різному. Так, наприклад, в техніці вібраційних випробувань під вібраційним стендом розуміється вібруючий стіл, а весь комплекс засобів управління і виміру разом із столом називається вібраційною установкою.

Стенд для випробувань, навпаки, включає весь комплекс засобів, необхідних для проведення цих випробувань.

Оскільки термін «випробувальне устаткування» як засіб випробувань для відтворення умов випробувань повністю охоплює всі тлумачення поняття «Випробувальний стенд», то, відповідно, поширений термін «стендові випробування» визначається як випробування, що проводяться на випробувальному устаткуванні.

Точність результатів випробувань - властивість випробувань, що характеризується близькістю результатів випробувань до дійсних значень характеристик об'єкту, в певних умовах випробувань.

Відтворюваність методів і результатів випробувань - характеристика, визначувана близькістю результатів випробувань, ідентичних зразків одного і того

ж об'єкту по одній і тій же методиці в різних лабораторіях, різними операторами з використанням різного устаткування.

Відтворюваність методів і результатів випробувань, окрім методики випробувань (що включає метод, засоби, алгоритм проведення і так далі), може в значній мірі залежати від властивостей об'єкту випробувань.

Якщо об'єктом випробувань є, наприклад, декілька однотипних апаратів, що піддаються вибіркоvim випробуванням, то такі випробування у постачальника і споживача можуть проводитися на ідентичних апаратах, вибраних випадковим чином, і в цьому випадку деякі відмінності при виготовленні одних і тих же апаратів може істотно, інколи вирішальним чином, впливати на відтворюваність результатів випробувань.

Дані випробувань - реєстровані при випробуваннях значення характеристик властивостей об'єкту або умов випробувань, напрацювань, а також інших параметрів, що є початковими для подальшої обробки.

Результат випробувань - оцінка характеристик властивостей об'єкту, встановлення відповідності об'єкту заданим вимогам за даними випробувань, результати аналізу якості функціонування об'єкту в процесі випробувань.

Протокол випробувань - документ, що містить необхідні відомості про об'єкт випробувань, вживані методи, засоби і умови випробувань, результати випробувань, а також висновок за результатами випробувань, оформлений в установленому порядку.

Категорія випробувань - вид випробувань, що характеризується організаційною ознакою їх проведення і ухваленням рішення за результатами оцінки об'єкту в цілому.

Широкє коло видів випробувань, що об'єднуються в категорії випробувань, характеризується організаційними ознаками їх проведення, а саме - рівнем (державні, міжвідомчі, відомчі випробування), етапами розробки (попередні, приймальні), різними видами випробувань готової продукції (кваліфікаційні, періодичні, типові і т.д.).

За результатами всіх цих випробувань здійснюється оцінка об'єкту в цілому і приймається відповідне рішення - про можливість пред'явлення на приймальні випробування, про його постановку на виробництво, про закінчення освоєння серійного виробництва, про можливість його продовження, про привласнення тій або іншій категорії якості і т.д.

Зразок для випробувань - продукція або її частина, або проба, що безпосередньо піддаються експерименту при випробуваннях.

Дослідний зразок - зразок продукції, виготовлений по знов розробленій робочій документації для перевірки шляхом випробувань відповідності його заданим технічним вимогам з метою ухвалення рішення про можливість постановки на виробництво або використання за призначенням.

Суб'єктами системи випробувань є випробувальні організації, випробувальні підрозділи і безпосередні виконавці. Випробувальні організації і підрозділи мають бути атестовані.

Випробувальна організація - організація, на яку в установленому порядку покладено проведення певних видів випробувань.

Випробувальний підрозділ - підрозділ організації, на який керівництвом останньої покладено проведення випробувань для своїх потреб.

Атестація випробувальних організацій і підрозділів - посвідчення компетентності випробувальних організацій і підрозділів і їх оснащеності, що забезпечують проведення на належному технічному рівні всіх передбачених нормативно-технічною документацією випробувань.

4.3 Випробування теплотехнічних апаратів

Атестація випробувального устаткування - це визначення нормованих точнісних характеристик випробувального устаткування, їх відповідності вимогам нормативних документів і встановлення придатності цього устаткування до експлуатації.

Основні положення і порядок проведення атестації випробувального устаткування регламентований ДСТУ.

Основна мета атестації випробувального устаткування - підтвердження можливості відтворення умов випробувань в межах відхилень, що допускаються, і встановлення придатності використання випробувального устаткування відповідно до його призначення.

Розрізняють три види атестації випробувального устаткування:

- первинна атестація;
- періодична атестація;
- повторна атестація.

Випробування, перевірку і калібрування засобів вимірів, використовуваних як засоби випробувань або у складі випробувального устаткування, здійснюють відповідно до нормативних документів державної системи забезпечення єдності вимірів.

Типи засобів вимірів, що вбудовуються у випробувальне устаткування, вживане для випробувань мають бути затверджені у встановленому для даної сфери порядку.

Первинна атестація випробувального устаткування. Первинній атестації піддається випробувальне устаткування при введенні в експлуатацію в конкретному випробувальному підрозділі.

Первинна атестація полягає в експертизі експлуатаційної і проектної документації, на підставі якої виконана установка випробувального устаткування, експериментальному визначенні його технічних характеристик і підтвердженні придатності використання випробувального устаткування.

Первинну атестацію випробувального устаткування проводять відповідно до нормативних документів, що діють, на методики атестації певного виду випробувального устаткування або по програмах і методиках атестації конкретного устаткування, тобто атестація випробувального устаткування, що серійно випускається, проводиться по нормативних документах, що діють, одиничного - по програмах і методиках, розроблених для даного випробувального устаткування.

Первинну атестацію випробувального устаткування проводить комісія, що призначається керівником організації за узгодженням з державним науковим метрологічним центром, якщо їх представники повинні брати участь в роботі комісії.

До складу комісії включають представників:

- підрозділу організації, провідного випробування на даному випробувальному устаткуванні;
- метрологічної служби організації, підрозділ якої поводить випробування;
- державних наукових метрологічних центрів і (або) органів державної метрологічної служби при використанні випробувального устаткування для випробувань продукції з метою її обов'язкової сертифікації або випробувань на відповідність обов'язковим вимогам державних стандартів;
- замовника на підприємстві в разі використання випробувального устаткування для випробувань продукції, що поставляється по контрактах.

Первинну атестацію випробувального устаткування можуть проводити на договірній основі акредитовані в установленому порядку головні і базові організації метрологічної служби (згідно області їх акредитації).

На первинну атестацію випробувальним підрозділом представляється випробувальне устаткування з повним комплектом технічної документації і технічними засобами, необхідними для його нормального функціонування і для проведення первинної атестації.

До складу документації, що надається, повинні входити:

- експлуатаційні документи по ДСТУ;
- програма і методика первинної атестації випробувального устаткування;
- методика періодичної атестації випробувального устаткування в процесі експлуатації, якщо вона не викладена в експлуатаційних документах.

В процесі первинної атестації встановлюють:

- можливість відтворення зовнішніх впливаючих чинників або режимів функціонування об'єкту випробувань, встановлених в документах, на методики випробувань об'єктів конкретних видів;
- відхилення характеристик умов випробувань від нормованих значень;
- забезпечення безпеки персоналу і відсутність шкідливої дії на довкілля;
- перелік характеристик випробувального устаткування, які перевіряють при періодичній атестації устаткування, методи, засоби і періодичність її проведення.

Результати первинної атестації оформляються протоколом.

Протокол первинної атестації випробувального устаткування повинен містити наступні дані:

- склад комісії з вказівкою прізвищ, посади, найменування організації;
- основні відомості про випробувальне устаткування (найменування, тип, заводський (інвентарний) номер, найменування підприємства-виготівника);
- характеристики випробувального устаткування, що перевіряються;
- умови проведення первинної атестації: температура, вологість, освітленість і т.п.;

- документи, використовувані для первинної атестації: програма і методика атестації, стандарти, технічні умови, експлуатаційні документи і т.п.;

- характеристики засобів вимірів, використовуваних для проведення первинної атестації випробувального устаткування: найменування, тип, заводський (інвентарний) номер, завод виготівник, відомості про перевірку (калібруванню);

- результати первинної атестації:

а) зовнішній огляд (комплектність, відсутність пошкоджень, функціонування вузлів, агрегатів, наявність документів, що діють, на методики перевірки (калібрування) вбудованих або таких, що входять в комплект засобів вимірів);

б) значення характеристик випробувального устаткування, отримані при первинній атестації;

- висновок комісії про відповідність випробувального устаткування вимогам нормативних документів на випробувальне устаткування і на методики випробувань об'єктів конкретних видів і можливості використання випробувального устаткування для їх випробувань;

- рекомендації комісії:

а) перелік нормованих характеристик, які визначають при періодичній атестації випробувального устаткування в процесі його експлуатації;

б) періодичність періодичної атестації випробувального устаткування в процесі його експлуатації;

в) додаткові рекомендації комісії (при необхідності).

Протокол первинної атестації випробувального устаткування підписують голова і члени комісії, що проводили первинну атестацію.

При позитивних результатах первинної атестації на підставі протоколу первинної атестації оформляється атестат по відповідній формі.

Атестат підписує керівник організації, в підрозділі якої проводилася первинна атестація випробувального устаткування.

Негативні результати первинної атестації вказують в протоколі.

Відомості про виданий атестат (номер і дата видачі), набутих значень характеристик випробувального устаткування, а також термін подальшої

періодичної атестації випробувального устаткування і періодичність її проведення в процесі експлуатації вносять до формуляру або спеціально заведеного журналу.

4.4 Періодична атестація випробувального устаткування

Періодичній атестації піддається випробувальне устаткування, що знаходиться в експлуатації і пройшовши первинну атестацію.

Періодичній атестації устаткування піддається через інтервали часу, встановлені в експлуатаційній документації на випробувальне устаткування при його первинній атестації. Інтервали часу періодичної атестації можуть бути скореговані за результатами контролю стану випробувального устаткування в процесі його експлуатації; для різних частин випробувального устаткування інтервали атестації можуть бути різні.

Періодичну атестацію випробувального устаткування в процесі його експлуатації проводять в об'ємі, необхідному для підтвердження відповідності характеристик випробувального устаткування вимогам нормативних документів на методики випробувань і експлуатаційних документів на устаткування і придатності його до подальшого використання.

Номенклатуру характеристик випробувального устаткування, що перевіряються, і об'єм операцій при його періодичній атестації встановлюють при первинній атестації устаткування, виходячи з нормованих технічних характеристик устаткування і тих характеристик, які визначають при випробуваннях.

Періодичну атестацію випробувального устаткування в процесі його експлуатації проводять співробітники підрозділу, в якому встановлено устаткування, уповноважені керівником підрозділу для виконання цієї роботи, і представники метрологічної служби організації.

Результати періодичної атестації випробувального устаткування оформляють протоколом.

Протокол періодичної атестації випробувального устаткування повинен містити наступні дані:

- основні відомості про випробувальне устаткування (найменування, тип, заводський (інвентарний) номер, найменування підприємства-виготівника);
- характеристики випробувального устаткування, що перевіряються;
- умови проведення періодичної атестації: температура, вологість, освітленість і т.п.;
- результати періодичної атестації:

а) зовнішній огляд (відсутність пошкоджень, функціонування вузлів, агрегатів, наявність експлуатаційних документів на випробувальне устаткування і документів, підтверджуючих зведення про перевірку (калібрування) вбудованих чи і таких, що входять в комплект засобів вимірювання);

б) характеристики засобів вимірювання, використовуваних для проведення періодичної атестації випробувального устаткування (найменування, тип, заводський (інвентарний) номер, найменування підприємства-виготівника), і зведення про їх перевірку (калібрування);

в) значення характеристик випробувального устаткування, отримані при попередній атестації;

г) значення характеристик випробувального устаткування, отримані при періодичній атестації;

- висновок про відповідність випробувального устаткування вимогам нормативних і експлуатаційних документів на випробувальне устаткування і на методики випробувань об'єктів конкретних видів.

Протокол з результатами періодичної атестації підписують особи, що її проводили. Затверджує протокол керівник організації.

При позитивних результатах періодичної атестації в паспорті (формулярі) роблять відповідну відмітку, а на випробувальне устаткування прикріплюють бирку з вказівкою дати проведеної атестації і терміна подальшої періодичної атестації.

При негативних результатах періодичної атестації в протоколі вказують заходи, необхідні для доведення технічних характеристик випробувального устаткування до необхідних значень.

Повторна атестація випробувального устаткування. Повторній атестації випробувальне устаткування піддається: в разі ремонту або модернізації випробувального устаткування; проведення робіт з фундаментом, на якому воно встановлене; переміщення стаціонарного випробувального устаткування і інших причин, які можуть викликати зміни характеристик відтворення умов випробувань.

Повторну атестацію випробувального устаткування після ремонту або модернізації здійснюють в порядку, встановленому для первинної атестації випробувального устаткування.

Повторну атестацію випробувального устаткування після проведення робіт з фундаментом, на якому воно встановлене, або переміщення стаціонарного випробувального устаткування, або викликану іншими причинами, які можуть викликати зміни характеристик відтворення умов випробувань, здійснюють в порядку, встановленому для періодичної атестації випробувального устаткування.

4.5 Обробка експериментальних даних по створенню теплоізоляційних матеріалів

При узагальненні результатів фізичного експерименту по тепловіддачі і гідродинаміці в каналах і при зовнішньому обтіканні тіл для виконання умов

моделювання фізичних явищ результати експерименту представляються у вигляді рівнянь подібності.

Система чисел подібності, що визначає процес тепловіддачі в найбільш простій формі:

1. Число Нуссельта

$$Nu = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda} ;$$

2. Число Фур'є

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2} ;$$

3. Число Пекле

$$Pe = \frac{\omega \cdot l}{a} ;$$

4. Число гомохронності

$$Ho = \frac{\omega \cdot \tau}{l} ;$$

5. Число Ейлера

$$Eu = \frac{p}{(\rho \cdot \omega^2)} ;$$

6. Число Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega \cdot l}{\nu} ;$$

7. Число Грасгофа

$$Gr = \frac{g \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \beta \cdot \Delta t ;$$

8. Число Прандтля

$$\text{Pr} = \frac{Pe}{\text{Re}} = \frac{\mu \cdot c_p}{\lambda}.$$

Порядок отримання рівняння подібності.

При розрахунку чисел подібності фізичні параметри потоку (λ, ν, c_p, μ і т.д.) мають бути віднесені до певної температури. Таку температуру називають визначаючою; у якості її використовується одна з трьох середніх температур:

- потоку T_f ;
- поверхні T_w ;
- пограничного шару $T_m = 0,5 \cdot (T_f + T_w)$.

Відповідно до цього числа подібності мають індекси, вказуючи на певну температуру.

Числа подібності включають також деякий лінійний розмір l , який називається визначальним розміром тіла або системи. Як визначальний розмір приймається той розмір, який найбільшою мірою визначає закономірності явища.

Числа подібності, підраховані по визначальній температурі, не враховують впливи всього різноманіття значень температур, які можуть бути в конкретній системі. При великих температурних натисках між потоком і стінкою і різному напрямі теплового потоку в рівнянні подібності вводиться член, яким враховуються весь діапазон і характер зміни фізичних параметрів потоку.

Для обліку температурного чинника в рівняння подібності, де визначається середня температура потоку, вводиться параметр $(\text{Pr}_f / \text{Pr}_m)^{0,25}$, використання якого найефективніше в разі неметалічних рідин. Для більшості краплинних рідин істотну роль грає залежність від температури лише динамічного коефіцієнта в'язкості, у зв'язку з чим при розрахунку ламінарних і турбулентних потоків краплинної рідини вводяться множники $(\mu_f / \mu_w)^{0,14}$ і $(\mu_f / \mu_w)^{0,11}$. При перебігу розплавлених металів дана поправка близька до одиниці.

Для обліку зміни фізичних параметрів і напрямку теплового потоку для газів вводиться температурний чинник і використовується множник:

а) при $T_w < T_f$, $\varepsilon_t = 1,27 - 0,27 \cdot T_w / T_f$;

б) при $T_w > T_f$, $\varepsilon_t = (T_w / T_f)^{0,55}$.

Кількісний зв'язок між числами подібності зазвичай виражається статичним рівнянням. Наприклад, при вимушеному русі теплоносія рівняння подібності має вид

$$\text{Nu}_f = C \cdot \text{Re}_f^m \cdot \text{Pr}_f^n,$$

де у якості визначаючій вибрана середня температура потоку. Постійні C , визначаються в результаті математичної обробки експериментальних даних.

Спочатку знаходиться показник міри m , для чого експериментальні дані представляються в графічній формі з використанням логарифмічних координат $(\lg Nu_f, \lg Re_f)$ при постійних значеннях числа Pr_f

$$\lg Nu_f = \lg C + m \cdot \lg Re_f + n \cdot Pr_f.$$

З графічних залежностей встановлюється середнє значення $m = \operatorname{tg} \varphi$, де φ - середній кут нахилу прямих.

Далі ці ж дані представляються в логарифмічних координатах $\lg Nu_f, \lg Pr_f$ при $Re_f = \text{const}$ і знаходять середнє значення n аналогічним чином.

Для остаточної перевірки отриманих результатів і визначення постійною C будується графік експериментальних даних в координатах $\lg(Nu_f / Pr_f^n) = f(Re_f)$

$$\lg \left(\frac{Nu_f}{Pr_f^n} \right) = C + m \cdot \lg Re_f.$$

При необхідності обліку фізичних властивостей середовища (краплинна рідина) рівняння подібності матиме вид

$$Nu_f = C \cdot Re_f^m \cdot Pr_f^n \cdot (Pr_f / Pr_\omega)^{0,25}.$$

В цьому випадку коефіцієнти m і n визначається в координатах $\lg \left[Nu / \left(\frac{Pr_f}{Pr_\omega} \right)^{0,25} \right] = f(\lg Re_f)$ і $\lg \left[Nu / \left(\frac{Pr_f}{Pr_\omega} \right)^{0,25} \right] = f(\lg Pr_f)$ відповідно при $Pr_f = \text{const}$ і $Re_f = \text{const}$. При цьому необхідно орієнтовно знати значення цих коефіцієнтів, знайдених наближеними або точними аналітичними методами. Остаточна перевірка отриманих результатів і визначення постійною C виконується в логарифмічних координатах $\lg \left[\frac{Nu_f}{\left(Pr_f / Pr_\omega \right)^{0,25} \cdot Pr_f^n} \right] = f(\lg Re_f)$.

Отримані рівняння можуть використовуватися лише в тому інтервалі зміни чисел подібності, який мав місце в експерименті. Екстраполяція рівняння подібності може привести до серйозних помилок в розрахунках.

Даний метод здобуття рівнянь подібності може використовуватися як у фізичному, так і в обчислювальному експерименті. У останньому випадку числа подібності визначаються на основі розрахунків досліджуваного явища.

Для пористого теплоізоляційного матеріалу або елемента конструкції теплового захисту енергетичного обладнання перенесення енергії крізь пористу структуру характеризуватиметься ефективним коефіцієнтом теплопровідності або тепловим опором. Представимо теплову енергію як флюїд, тоді тепловий потік крізь пористе тіло можна розбити на безліч теплових трубок, бічні границі яких утворені проекцією бічної поверхні пори діаметром d_2 . Сама пора знаходиться у тепловій трубці та має розміри, вказані на рис. 4.1.

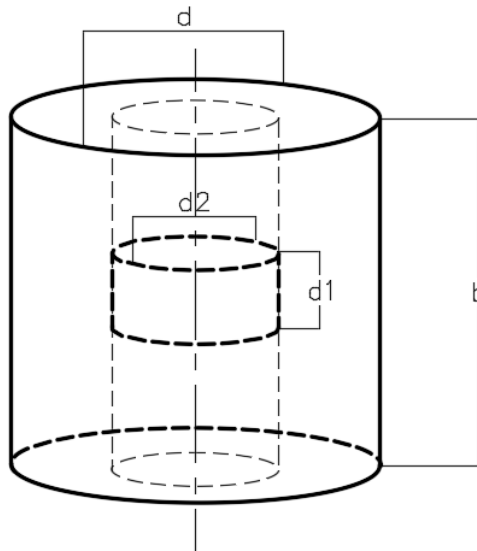


Рисунок 4.1 – Теплова трубка з порою

Для стаціонарного теплового потоку через бічну поверхню пори, а за малого b та d й через кожен перетин теплової трубки енергетичного потоку протікає в одиницю часу питомий тепловий потік у кількості

$$q = \frac{Q_i}{\pi \cdot d_2 \cdot d_1}.$$

Для виведення мінімальної температури, що може бути задана на кінці пористої конструкції теплового захисту розглянемо лінії току теплоти крізь упорядковану пористу структуру (рис.4.2). Лінії потоку теплової енергії у пористої конструкції теплового захисту енергетичного обладнання близько ліній 1-1 та 2-2 стають паралельними, та не перетинають їх. Лінії 1-1 та 2-2 умовно приймають за адіабатні площини [5, 262]. Якщо розглядати тепловий потік, що обмежений адіабатами 1-1 та 2-2, які спрямовані вздовж теплового потоку між порами, то отримаємо канал теплового потоку між розглянутими порами та каналом умовною товщиною d (рис.4.1). У попередніх розрахунках знайдено ефективний коефіцієнт теплопровідності пористого теплоізоляційного матеріалу

так конструкції теплового захисту з врахуванням конвективних потоків в середині пір та доведено, що при достатньо малих розмірах пір конвективною та радіаційною складовою ефективного коефіцієнта теплопровідності можна нехтувати, тому розглянемо передачу теплової енергії по тепловому каналу тільки завдяки теплопровідності матеріалу.

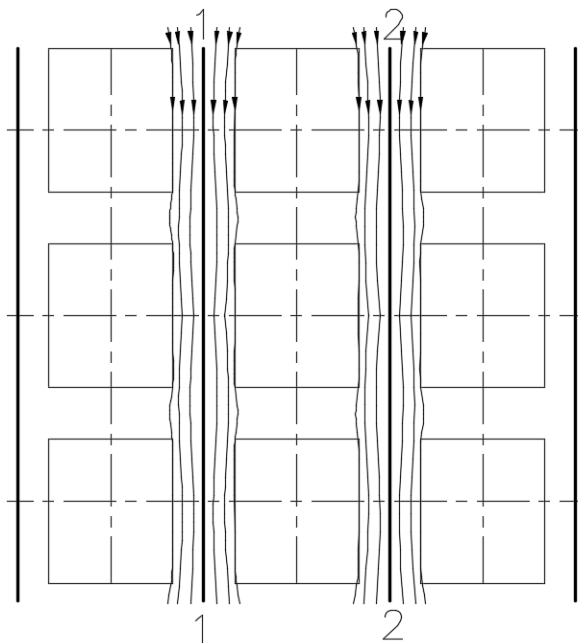


Рисунок 4.2 – Лінії току теплоти у пористій структурі конструкції теплового захисту енергетичного обладнання

Тепловий потік, що пройде через тепловий канал пористої структури конструкції теплового захисту енергетичного обладнання, буде задавати наступну різницю температур на кінцях цього каналу

$$\Delta T = \frac{q \cdot \Delta S \cdot b}{\lambda}, \quad (4.1)$$

де ΔS – площа теплового каналу, по якому передається теплота тільки завдяки теплопровідності матеріалу;

λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу;

b – довжина каналу.

Нехай у тепловому каналі знаходиться одна тепла трубка, тоді підставивши у різницю температур теплового каналу тепловий потік, що проходить крізь теплову трубку, отримаємо мінімально-можливу температуру на кінці теплового каналу

$$T_2 = T_1 + \frac{Q_i \cdot \Delta S \cdot b}{\lambda \cdot \pi \cdot d_2 \cdot d_1}. \quad (4.2)$$

За $d_1 = b$ (тобто розмір пори рівний ширині теплового каналу) та однієї пори, легко довести, що

$$\Delta S = \frac{\pi d^2 (1 - \Pi)}{\Pi}, \quad (4.3)$$

де Π – пористість матеріалу.

Для загального випадку буде справедливим наступне співвідношення

$$\frac{b}{d_1} = \frac{n_b}{\Pi_b}, \quad (4.4)$$

де n_b – кількість пір у тепловому каналі;

Π_b – пористість даного каналу.

Так

$$\Delta S = \frac{\pi (d^2 - d_2^2)}{4}. \quad (4.5)$$

Тоді тепловий потік, що протікає через теплову трубку з порами можна виразити через мінімальну температуру (мінімальну різницю температур) на кінцях каналу теплового току

$$Q_i = \frac{\lambda \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \Pi_b \cdot \Delta T}{\Delta S \cdot n}. \quad (4.6)$$

У даній формулі виділимо

$$\phi_i = \frac{\Pi_b}{n_b}. \quad (4.7)$$

Величина ϕ_i являє собою теплову проникність теплового каналу та є безрозмірною.

Також у формулі (4.6) відокремимо геометричну характеристику теплового каналу яка дорівнює відношенню довжини лінії поперечного перетину пори до площі поверхні матеріалу у розрізі з порою.

$$\Gamma_i = \frac{\pi \cdot d_2}{\Delta S}. \quad (4.8)$$

Розмірність цієї величини м^{-1} . Чим вона більше, тим менша різниця між тепловим каналом та тепловою трубкою. Тобто, чим більша дана геометрична характеристика, тим менша різниця між d_2 та d .

Тепловий потік, що протікає через теплову трубку з порами буде дорівнювати

$$Q_i = \lambda \cdot \phi_i \cdot \Gamma_i \cdot \Delta T. \quad (4.9)$$

Мінімальний тепловий потік крізь пористий елемент конструкції теплового захисту буде дорівнювати сумі мінімальних теплових потоків через теплові канали. Приймаючи, що кількість пір та їх розмір по товщині елементу конструкції теплового захисту є величиною сталою, то отримаємо

$$Q = \lambda \cdot \phi \cdot \Gamma \cdot \Delta T, \quad (4.10)$$

де ϕ – теплова проникність пористого елементу конструкції теплового захисту.

Отже

$$\lambda_{ef} = \lambda \cdot \phi \cdot \Gamma. \quad (4.11)$$

Геометрична характеристика теплової трубки пористого теплоізоляційного матеріалу або елемента конструкції теплового захисту

$$\Gamma = \frac{\pi d_2}{S - n \frac{\pi d_2^2}{4}}, \quad (4.12)$$

де S – площа матеріалу, до якої направлено теплову енергію.

З рівняння (4.12) слідує, що зменшення коефіцієнту теплопровідності пористого матеріалу за рахунок пір буде залежати від добутку $\phi \cdot \Gamma$.

$$\phi \cdot \Gamma = \frac{\Pi_b}{n_b} \cdot \frac{2\pi r_2}{\Delta S}, \quad (4.13)$$

де $\overline{n_b}$ – середня кількість пір по товщі матеріалу b вздовж теплового потоку

Q.

Отже

$$\lambda_{ef} = \lambda_m \frac{\Pi_b}{n_b} \cdot \frac{2\pi r_2}{\Delta S}. \quad (4.14)$$

Отримане рівняння (4.14) дає можливість аналітично розрахувати ефективний коефіцієнт теплопровідності для закритих пористих структур елементів теплового захисту та теплоізоляційних матеріалів. Зменшення коефіцієнту теплопровідності пористого матеріалу завдяки порам буде залежати від коефіцієнта теплової проникності та геометричної характеристики пористої структури.

Питання для самоперевірки:

1. З якою метою проводяться випробування?
2. Дайте визначення терміна «об'єкт випробувань». Що може бути об'єктом випробувань?
3. Що включають умови випробувань?
4. Відповідно до яких документів проводяться випробування? Коротко охарактеризуйте ці документи.
5. Що розуміється під системою випробувань?
6. Що спільного і в чому відмінність між засобом випробувань і випробувальним устаткуванням?
7. З якою метою проводиться атестація випробувального устаткування?
8. Дайте визначення терміна «відтворюваність методів і результатів випробувань». Від яких чинників залежить відтворюваність методів і результатів випробувань?
9. У чому відмінність між даними випробувань і результатами випробувань?
10. Який документ оформляється після завершення випробувань і що він повинен містити?

Практичне завдання:

Дослідження та обробка експериментальних даних по створенню теплоізоляційних матеріалів.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна:

1. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / В. М. Дорошенко, О. С. Тітлов, Т. А. Сагала, Н. О. Біленко; Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : ФОП Бондаренко М. О., 2019. 156 с.

Додаткова:

1. Чейлитко А. О. Математичне моделювання та оптимізація процесів тепломасообміну : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 144 “Теплоенергетика” ден. та заоч. форми навчання. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 146 с.

2. Чижов С.Є. Навчально-методичний посібник з дисципліни "Дослідження та випробування апаратів теплотехнології". Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 112 с.

3. Ільїн С. В., Чейлитко А. О., Мних І. М. Енергоаудит : навч.-метод. посіб. для слухачів курсів підвищ. кваліфікації центру безперерв. освіти. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 130 с.

4. Чейлитко, А.О. Формування теплофізичних властивостей елементів конструкцій теплового захисту шляхом створення прогнозованих пористих структур: монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 318 с.

5. Павленко, А.М. Чейлитко А. О. Теоретичні основи формування теплофізичних властивостей теплоізоляційних матеріалів шляхом управління процесами тепломасообміну в пористих структурах : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 296 с.

6. Чейлитко, А.О. Белоконь К.В., Жеребцов О.А., Носов М.А. Формування пористих структур інтерметалідних каталізаторів : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 208 с.

7. Чейлитко, А. О. Ільїн С.В., Бондаренко Ю.В., Черненко Т.В. Ресурсозберігаючі технології в системах теплового захисту силового обладнання: монографія. Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 208 с.

8. Чейлитко, А. О. Карпенко Г.В., Ільїн С.В., Шараєва О.І. Формування пористої структури та властивостей теплоізоляції з вуглецевих композиційних матеріалів для електровакуумного обладнання. Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 170 с.

9. Інноваційна політика зарубіжних країн: концепції, стратегії, пріоритети (інформаційно-аналітичні матеріали, підготовлені Комітетом Верховної Ради України з питань науки і освіти та Міністерством закордонних справ України). Верховна Рада України. URL: <http://kno.rada.gov.ua/uploads/documents/36385.pdf>.

10. Меньяло В. І. Підготовка майбутніх докторів філософії до дослідницько-інноваційної діяльності: теоретико-методичні аспекти. Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика». 2020. 580 с.

Інформаційні джерела:

1. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=15030>
2. Курс «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці та гідроенергетиці» в системі електронного забезпечення навчання ЗНУ <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=8671> (дата звернення 02.09.2020)
3. Закон України “Про наукову і науково-технічну діяльність”. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/848-19>.
4. Закон України “Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні”. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/3715-17>.
5. Committee of Publication Ethics. URL: <http://publicationethics.org/>.
6. Open science in Ukraine. URL: <https://openscience.in.ua/>.
7. Policies and ethics. Elsevier. URL: <https://www.elsevier.com/authors/journal-authors/policies-and-ethics>.
8. Scimago Institutions Rankings. URL: <https://www.scimagojr.com/journalrank.php>
9. Scopus. URL: <https://www.scopus.com>.
10. Web of Science. URL: https://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=E6DMVP4rDWJEOc1IMtW&preferencesSaved=.
11. White Paper on Publication Ethics. Council of Science Editors. URL: <http://www.councilscienceeditors.org/resource-library/editorial-policies/white-paper-on-publication-ethics/>.
12. Лабораторія ефективних досліджень. URL: <http://sslab.com.ua>.
13. Регистрация на сайте Mendeley. НМАЛитоБзор. URL: https://litreview.ru/guides/Mendeley_guide.pdf.
14. Етика публікацій та запобігання недобросовісній практиці публікацій. Право України. URL: <http://pravoua.com.ua/ua/publication-ethics/>.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Чижов С. Є. Дослідження та випробування апаратів теплотехнології : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2012. 112 с.
2. Волков В. О. Інформаційні технології та моделювання в електроенергетиці : метод. вказів. Запоріжжя : ЗДІА, 2015. 48 с.
3. Чейлитко А. О. Математичне моделювання та оптимізація процесів тепломасообміну : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 146 с.
4. Банах В. А., Чейлитко А. О., Ільїн С. В., Гладишева Т. В. Інформаційні технології гідроелектростанцій : навч. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2021. 158 с.
5. Основи наукових досліджень : навч. посіб. / В. М. Дорошенко, О. С. Тітлов, Т. А. Сагала, Н. О. Біленко ; Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : ФОП Бондаренко М. О., 2019. 156 с.
6. Чейлитко А. О. Формування теплофізичних властивостей елементів конструкцій теплового захисту шляхом створення прогнозованих пористих структур : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 318 с.
7. Павленко А. М., Чейлитко А. О. Теоретичні основи формування теплофізичних властивостей теплоізоляційних матеріалів шляхом управління процесами тепломасообміну в пористих структурах : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 296 с.
8. Чейлитко А. О., Белоконь К. В., Жеребцов О. А., Носов М. А. Формування пористих структур інтерметалідних каталізаторів : монографія. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 208 с.
9. Чейлитко А. О., Ільїн С. В., Бондаренко Ю. В., Черненко Т. В. Ресурсозберігаючі технології в системах теплового захисту силового обладнання : монографія. Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 208 с.
10. Чейлитко А. О., Карпенко Г. В., Ільїн С. В., Шараєва О. І. Формування пористої структури та властивостей теплоізоляції з вуглецевих композиційних матеріалів для електровакуумного обладнання : Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 170 с.
11. Чейлитко А. О. Проектування та оптимізація систем теплопостачання : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 200 с.
12. Чейлитко А. О. Математичне моделювання та оптимізація процесів тепло масообміну : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 146 с.
13. Ільїн С. В., Чейлитко А. О., Мних І. М. Енергоаудит [Електронний ресурс] : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 130 с.

Інформаційні ресурси:

1. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) : [Веб-сайт]. URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=15030> (дата звернення: 15.01.2021).

2. Курс «Основи наукових досліджень в теплоенергетиці та гідроенергетиці» в системі електронного забезпечення навчання ЗНУ. URL: <https://moodle.znu.edu.ua/course/view.php?id=8671> (дата звернення: 22.01.2021).

3. Навчально-консультаційний центр Академії АНПІ. URL: <https://academy.rasep.ru/dopy/43-strategiya-ispolzovaniya-indeksov-tsitirovaniya/indeksy-tsitirovaniya-web-of-science/154-kratkoe-rukovodstvo-po-endnote-web-rus> (дата звернення: 29.11.2020).

4. Краткое руководство EndNote Online. URL: http://wokinfo.com/media/mtrp/enw_qrc_ru.pdf (дата звернення: 29.11.2020).

ДОДАТОК А

УДК 621

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЛОКУ ЗАПОРІЗЬКОЇ АЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000

А.О. Чейлитко, Г.В. Карпенко, С.В. Ільїн

Запорізький національний університет, м. Запоріжжя, Україна,

*****@meta.ua*

Підвищення ефективності роботи блоку Запорізької АЕС з реактором ВВЕР-1000, шляхом зменшення температури води на вході в конденсатор.

В роботі наведено опис АЕС та ядерного енергетичного реактора ВВЕР-1000, шляхом зменшення температури води на вході в конденсатор. Виконано детальний нейтронно-фізичний розрахунок ядерного енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 з турбоустановкою К-1000-60/3000. Встановлений вплив температури охолоджуючої води на вході в конденсатор і навантаження на ККД турбоустановки та витрату пари і теплоти на турбоустановку.

Вступ. Масштаб видобутку та використання викопних енергоресурсів для виробництва необхідної людству кількості енергії величезний, а запаси ресурсів обмежені. Особливо гостро постає проблема швидкого вичерпання запасів органічних природних енергоресурсів України. Використання енергії атомного ядра, розвиток атомної енергетики та підвищення її ефективності знімає гостроту цієї проблеми.

У 1977 році в зв'язку з загостренням проблеми енергозабезпечення південних районів країни, Радою Міністрів СРСР було прийнято рішення про будівництво Центрально-Української атомної електростанції. Після аналізу техніко-економічних характеристик альтернативних пунктів розміщення атомної станції Міністерство енергетики СРСР зупинило свій вибір на пункті «Запорізький». Минуло 40 років і у 2017 році Запорізька атомна електростанція (ЗАЕС) виконала планове завдання – 33млрд 20 млн кВт/год [1].

Основна частина будь-якого ядерного реактора це активна зона в якій протікає ланцюгова реакція поділу. Вона утворюється завантаженим ядерним паливом у вигляді тепловиділяючих елементів – твелів. Діаметр свердла 9,1 мм, діаметр паливних таблеток 7,53 мм, маса завантаження двоокису уран твелів – 1565 г. Твели об'єднуються в тепловиділяючі збірки касетного типу, містить 317 твелів і 12 направлених стрижнів регулювання. Кількість ТВС в активній зоні – 163, з них з регулюючим стрижнем – 61. Теплота, що виділяється твелями, відводиться безперервно циркулюючим теплоносієм. На ЗАЕС з реактором типу ВВЕР-1000 (водо-водяний енергетичний реактор), на відміну від станції

«Чорнобильської» з реакторами типу РБМК використання теплоти активної зони здійснюється двухконтурною схемою.

Зв'язок Запорізької АЕС з єдиною енергетичною системою України здійснюється трьома лініями електропередачі напругою 750 кВ і однією лінією електропередачі напругою 330 кВ змінного струму.

Сьогодні в Україні працюють чотири АЕС, на яких діють 15 енергоблоків типу ВВЕР загальною потужністю 13880 МВт. За останнє десятиліття загальне щорічне виробництво електроенергії в Україні збільшилося, зросла і частка енергетичної виробітки на атомних електростанціях. Тобто, атомна енергетика стала основним стабілізуючим фактором енергетичної системи держави. Ці факти, а також аналіз енергетичних потреб держави та можливостей їх задоволення свідчать про доцільність і необхідність розвитку в Україні атомної енергетики. Вибір саме такого шляху відповідає і світовій тенденції [2, 3].

Успішне функціонування атомної енергетики – одна з необхідних умов забезпечення національної безпеки країни.

Мета та завдання роботи.

Об'єкт дослідження - блок Запорізької АЕС з реактором ВВЕР-1000.

Предмет дослідження - ядерний реактор Запорізької АЕС та його геометричні характеристики.

Мета роботи - проаналізувати вплив зміни температури води входу до конденсатору турбіни на ефективність роботи блоку АЕС.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою досліджень;
- виконано нейтронно-фізичні та тепло-гідравлічні розрахунки ядерного енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 з турбоустановкою К-1000-60/3000;
- встановлений вплив температури охолоджуючої води на вході в конденсатор і навантаження на ККД турбоустановки та витрату пари і теплоти на турбоустановку;
- проведено дослідження впливу параметрів проміжного перегріву пари на ефективність роботи блоку;
- зроблено висновки.

Методи та засоби дослідження. Поставлені задачі вирішувались шляхом розрахунку ядерного реактора та аналізу впливу зміни температури води на вході в конденсатор на турбіну. В роботі використані основні теоретичні положення щодо ядерної енергії, що виділяється при ланцюговій ядерній реакції ділення ядер ізоотопів урану або плутонію.

Практична цінність роботи полягає в наступному – встановлений вплив температури охолоджуючої води на вході в конденсатор і навантаження на ККД турбоустановки та витрату пари і теплоти на турбоустановку.

Аналіз літературних джерел за тематикою досліджень

Підвищення кількості енергії, що забирається у другому контурі АЕС розглядається багатьма авторами. Так, інтенсифікація тепломасообміну в парогенераторах АЕС розглядається у [4], додаткове обладнання другого контуру водневою установкою розглянуто у [5], але збільшення ізоентропного теплоперепаду турбіни є найкращим методом підвищення ефективності роботи блоку АЕС з реакторами ВВЕР [6]. Збільшення ізоентропного теплоперепаду можливе за рахунок зміни або початкових параметрів пари, або кінцевих, або використанням проміжного перегріву з сепарацією пари. Зниження кінцевих параметрів пари у конденсаторі шляхом зменшення температури охолоджуючої води є найбільш простим технічним рішенням. Питання охолодження води в конденсаторі розглянуто у [7, 8, 9].

Дуже важливим фактором при розрахунку ефективності буде комплексна техніко-економічна оцінка впроваджених заходів з врахуванням етапів реалізації в часовій перспективі [10].

Схема організації проміжного перегріву пари на АЕС.

У теплоенергетичній установці з проміжним перегрівом пара після розширення в циліндрі високого тиску (ЦВТ) турбіни направляється в реактор для вторинного перегріву, де температура її підвищується практично до того ж рівня, що і перед ЦВТ. Після проміжного перегріву пара направляється в циліндр низького тиску, де розширюється до тиску в конденсаторі рк.

Економічність ідеального теплового циклу з проміжним перегрівом залежить від параметрів пари, яка відводиться на проміжний перегрів. Оптимальну температуру пари, за якої вона повинна відводитись на проміжний перегрів, можна приблизно оцінити як 1,02–1,04 від температури живильної води. Тиск пари перед проміжним перегрівом зазвичай вибирають рівним 0,15–0,3 тиску свіжої пари. У результаті проміжного перегріву загальна економічність циклу зростає. При цьому завдяки зменшенню вологості пари в останніх ступенях турбіни низького тиску зростуть відносні внутрішні к.к.д. цих ступенів, а відповідно, збільшиться і к.к.д. всієї турбіни. Втрата тиску в тракці проміжного перегріву (в паропроводі від турбіни до котла, перегрівнику і паропроводі від котла до турбіни) знижує ефект від застосування проміжного перегріву пари і тому допускається не більше 10% втрати абсолютного тиску в проміжному перегрівнику.

У двоконтурній схемі АЕС з перегрівом вторинної пари в атомному реакторі (рис.1) робоче тіло (пар) після поверхневого парогенератора надходить у другу групу робочих каналів реактора, де проводиться його перегрів, а потім вже в турбіну.

ВИСНОВКИ

Виконано тепловий розрахунок другого контуру ядерного енергоблоку з реактором ВВЕР-1000 та турбоустановкою К-1000-60/3000. В результаті

проведеного розрахунку визначено параметри пари, води і конденсату в усіх точках теплової схеми, встановлено високі значення ККД, що свідчить про ефективність роботи турбоустановки. Під час визначення економічності установки розраховано повний електричний ККД (брутто) турбоустановки, який становить 0,3426 і ККД з врахуванням електроенергії на привід насосів (нетто), що становить 0,3408, ККД енергоблоку – 0,3324, питома витрата ядерного палива 0,16245 г/(МВт·год).

Проведено теплогідравлічний, геометричний розрахунок ТВЗ та активної зони і нейтронно-фізичний розрахунок реактора. В результаті одержано ряд графічних залежностей, що дають змогу встановити зміну тиску теплоносія і теплового навантаження по висоті активної зони реактора; зміну температур теплоносія, зовнішньої поверхні ТВЕЛа та температури насичення по висоті активної зони реактора для різних навантажень; зміну температури паливного осердя в радіальному напрямі для центральної площини активної зони і зміну температури внутрішньої та зовнішньої поверхні паливного осердя по висоті активної зони реактора; зміну теплового потоку на одиницю поверхні ТВЕЛа і ентальпії теплоносія та ентальпії насичення по висоті активної зони; зміну критичного теплового потоку та запасу до кризи кипіння по висоті активної зони реактора.

Методом найменших квадратів знайдена залежність значення ККД турбоустановки при зниженні температури охолоджуючої води. Середньомісячна температура води басейну АЕС у липні місяці становить +22 С. Умовні витрати електричної енергії для охолодження води на вході в конденсатор у липні становлять 58 223 416 кВт/год, що компенсує збільшення ККД АЕС. Отже, охолодження води на вході в конденсатор значно підвищує ефективність роботи блоку Запорізької АЕС та є економічно доцільним.

ДОДАТОК Б

Теоретичні відомості

В Україні за останні роки відбулися суттєві зміни у сфері вищої освіти. Одним з чинників, що зумовив модернізацію цієї сфери – це адаптація вітчизняної вищої школи до міжнародних стандартів у сфері освіти і науки.

Зокрема, йдеться про впровадження нових вимог до оформлення бібліографічного опису списку використаних джерел в дисертаціях та списку опублікованих робіт в авторефератах дисертацій; запровадження нового порядку присвоєння вчених звань науковим і науково-педагогічним працівникам; зміни процесів підготовки здобувачів наукового ступеня «доктор філософії» і «доктор наук» та присудження наукових ступенів.

Кожна поважаюча себе освічена людина повинна, як мінімум, знати вимоги для публікацій в міжнародних виданнях. А краще періодично публікувати наукові статті як результати своєї діяльності.

Пристатейна бібліографія (REFERENCES)

Список використаних джерел відповідно до ДСТУ можна оформити сьогодні відповідно до вимог ДАК України автоматично.

Для активного включення статей наукового фахового видання в обіг наукової інформації та коректного індексування публікацій наукометричними системами необхідно після наведення списку використаних джерел в кожній публікації наводити блок REFERENCES, який повторює список джерел з латинським алфавітом, та наводить список кирилических джерел у транслітерованому вигляді. Крім того цитування у блоці REFERENCES повинні бути оформлені за міжнародними стандартами.

Транслітерація здійснюється залежно від мови оригіналу відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 55 від 27 січня 2010р. «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» (для української мови): Стандартна українська транслітерація.

Список інформаційних джерел у блоці REFERENCES повинен бути оформлений відповідно до міжнародних стандартів. Одним із найбільш популярних є стандарт APA (American Psychological Association (APA) Style), коли рік публікації наводиться у круглих дужках після імені автора.

Для оформлення кирилических цитувань необхідно транслітерувати імена авторів та назви видань (назви статей для кирилических видань транслітеруються або опускаються, можна навести авторський англійський варіант назви статті). Назви періодичних видань (журналів) наводяться відповідно до офіційного латинського написання за номером реєстрації ISSN (можна перевірити на сайті журналу або в науковій онлайн-базі, «Наукова періодика України» та багатьох інших).

В елементах опису не можна використовувати фігурні лапки (лише звичайні прямі (« »), не можна замінювати латинські літери на кириличні.

Приклад оформлення міжнародної статті

Design of a new method for obtaining thermal insulation blocks from hydro silicate

Anatolii Pavlenko^{1,a}, Andrii Cheilytko^{2,b},
Hanna Koshlak^{1,c}, Serhii Ilin^{2,d},

¹Department of Building Physics and Renewable Energy Kielce University of Technology, 7 Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego, Kielce, 25-314, Poland

²Department of Heat Power and Hydropower Zaporizhzhia National University, 226 Soborny Ave., Zaporizhzhia, 69006, Ukraine

^aapavlenko@tu.kielce.pl, ^{b*}cheilytko@i.ua, ^cannready@yandex.ua,
^dsvizp1@gmail.com

Key words: *High-porous, Heat-insulating materials, Hydrosilicates, Energy balance, Pore, Thermal insulation*

Abstract. Design thermal insulation from porous materials based on hydrosilicates is a promising area of research. In this article a detailed analysis of the energy balance of pore formation was carried out and the new high-porous heat-insulating materials creation possibility on the basis of hydrosilicates was investigated. In article systematized techniques set and scientific research means in thermophysics was used. The research high-porous materials thermophysical properties methodology is based on conducting empirical laboratory investigations of the obtained samples. An analytical study of the pore formation energy balance has been carried out. The results of a new high-porous heat-insulating material creation process research on the hydrosilicates basis are presented. The coefficient of thermal conductivity of the received thermal insulation is equal to 0.114-0.119 W/(m·K). Specific heat of a material at 22 °C rises 1.33-1.41 kJ/(kg·°C). The obtained results confirm that the developed heat-insulating material meets the requirements of the insulating material. The energy expended amount on formation of the structure of hydrosilicate is determined, the energy balance of the powder formation process is compiled. The coefficient of thermal conductivity and specific heat of the received material are found. A new high-porous heat-insulating material on the hydrosilicates basis was proposed. From the proposed hydrosilicate, thermal insulation was created, which was used at Motor Sich JSC for special conditions of operation, which confirms the practical value of the research carried out.

Introduction

In the conditions of economic crisis and the course towards energy independence of Ukraine, improving the thermophysical characteristics of the elements of thermal protection of power equipment is an urgent task.

The use of porous hydrosilicate based materials is a promising area of research.

Porous materials based on hydrosilicates have a relatively low cost of finished products. Hydro-silicate blocks of insulation are smaller than concrete, which reduces the costs of transportation and processing. In addition, the mass of the structure turns out to be lower. Ecological purity is similar to concrete.

However, these materials have some drawbacks: a high degree of water absorption and relatively low heat resistance.

Literature review

Hydrosilicates have been widely used as porous material for thermal protection today [1].

Hydrosilicate blocks are widely used as a lightweight, porous insulation material for energy efficient buildings. Knowledge of thermal conductivity of these materials is necessary for thermal design of thermal insulation structures of buildings. Effective thermal conductivity is highly dependent on moisture content. However, such dependence is not well documented in the available literature [2].

As raw material for the production of thermal insulation materials from hydrosilicates can be used original phosphogypsum, which is a waste from the production of phosphoric acid by the method of dehydrogenation [3]. It is prepared by regulating the proportion of the mixture of crude phosphogypsum and a small amount of cement, mixing with foam. Also alumina deposits are used as raw material for expanded hydrosilicate. The results of the study of the optimal composition of monolithic insulation material based on expanded perlite, which was obtained from the raw materials of the mine field "Fogosh" (Transcarpathian region, Ukraine) are given in [4]. The main physical and mechanical properties of this material are investigated in the article, but the accent was made on the strength characteristics for making composite of expanded perlite.

For now, thorough research has been carried out on the use of porous materials as elements of thermal protection of technological equipment [5], [6], [7], [8], [9]. But, the main focus of the study is on comparing the actual and calculating values of thermal conductivity and water drainage properties over time.

The expanded hydrosilicates are used not only in concrete blocks, but also as backfill. The possibility of using metal porous structures as a durable and economical insulation for tanks with backfilling of hydrosilicates is considered [10].

Much of the modern technological processes of structural molding of materials are based on thermal influences on various crude mixtures, which create the conditions for

the formation of structure [11]. The study is devoted to the organization of control of these processes and to prove the need to find qualitative and quantitative dependences of changes in thermal properties of materials in the process of their formation.

The most common hydrosilicates are aluminosilicates [12]. The basic quantitative characteristics of mixtures based on aluminosilicates were determined [13] and thermal analysis of mixtures was carried out [14], [15].

The article [16] explores a numerical model of sedimentation and suspension filtration, based on the dynamic version of the discrete element method. This model reflects the behavior of particles at the micro and mesoscale: the formation of pores and flakes, and qualitatively reproduces macro effects: deposition of a layer of particles and compaction under the influence of its own weight. The effect of adhesive forces on the structure of sedimentation layers is considered [17]. A theoretical model has been developed that allows one to calculate the porosity of the sedimentation layer depending on the particle size, layer thickness, and adhesive strength level. A nonmonotonic dependence of the porosity of the bidispersed mixture on the fraction of the fine fraction was carried out for arbitrary ratios of the diameters of small and large particles [18].

However, there is no research into the possibilities and mechanisms for creating macroporous structures from this material, which will significantly increase its thermophysical properties.

Statement of problems

Despite the high prevalence of hydrosilicates as thermal insulation materials, there are currently no thorough studies of the influence of the nature of the porous structure on the thermophysical characteristics of insulating materials.

For further research it is necessary to carry out a detailed analysis of the energy balance of pore formation and to explore the possibility of creating new highly porous thermal insulation materials based on hydrosilicates.

Energy balance of formation of porous granule structure

To determine the amount of energy spent on the formation of the structure of the hydrosilicate, we make the equation of energy balance of the pore formation process.

The energy balance of the formation of the hydrosilicate structure from the initial wet mixture due to the supply of energy by the heated gas flow can be represented by the following equation where the indices p refer to the liquid, mat – to the material

$$Q_{\text{conv}} + Q_{\text{rad}} = Q_{\text{heat(liquid)}} + Q_{\text{vap}} + Q_{\text{heat(steam)}} + Q_{\text{mat}} ;$$

$$Q_{\text{conv}} = Nu \cdot 2 \cdot \pi \cdot r(\tau) \cdot \bar{\lambda}(\tau, T) \cdot (T_{\text{stream}} - T_0); \quad Q_{\text{rad}} = A \cdot C_0 \cdot 4 \cdot \pi \cdot r(\tau)^2 \cdot \left[\left(\frac{T_{\text{furnace}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right];$$

$$\begin{aligned}
Q_{\text{heat}(liquid)} &= M_p \cdot \overline{C_p} \cdot (T_{\text{vap}} - T_0); \\
Q_{\text{vap}} &= M_p \cdot L; \\
Q_{\text{heat}(steam)} &= 2 \cdot \pi \cdot r(\tau) \cdot D \cdot (c_o - c_\infty) \cdot Sh \cdot C_{\text{steam}} \cdot (T_{\text{end}} - T_{\text{vap}}); \\
Q_{\text{mat}} &= M_{\text{mat}} \cdot C_{\text{mat}} \cdot (T_{\text{vap}} - T_0) + \\
&+ M_{\text{mat}} \cdot \overline{C_{\text{mat}}(\tau, T)} \cdot (T_{\text{end}} - T_{\text{vap}})
\end{aligned}$$

$r(\tau)$ – the average integral radius of the expanded clay pellet, depending on the time of heat treatment;

T_0 – the initial temperature of the original mixture;

$\overline{C_p}$ – average water capacity in the temperature range from initial to evaporation temperature;

$(c_o - c_\infty)$ – the difference in the concentration of water granules and the medium;

D – diffusion coefficient in the clay pellet granule;

T_{vap} – water evaporation temperature;

$\overline{\lambda}(\tau, T)$ – average integral coefficient of thermal conductivity of the material, depending on the time and temperature of heat treatment;

C_{mat} – average integral heat capacity of the material, depending on the time and temperature of the heat treatment.

The disadvantage of this balance is that the determination of the dependence of the thermophysical parameters of the hydrosilicate granules on the temperature and time of heat treatment is determined empirically for each quantitative chemical composition of the initial mixture.

To determine the total thermal balance for a symmetric spherical body, we calculate the heat consumption for heating the material due to the heat flux density by the following formula

$$\begin{aligned}
\overline{T} &= \frac{3}{4\pi R^3} \int_0^R \int_0^{2\pi} \int_0^\pi T(r, \tau) r^2 \sin \theta d\theta d\Psi dr, \\
\overline{T} &= \frac{3}{4} \int_0^R T(r, \tau) r^2 dr.
\end{aligned}$$

Theoretical foundations of hydrosilicates forming insulating blocks new method

The chemical potential has a major influence on the formation of the porous structure of the thermal insulation material. Therefore, consider the work of reversible formation of the spherical pore nucleus l_{min} in the conditions $T = \text{const}$, $V = \text{const}$ (indexes 1 refer to the agent of the pore-forming agent, 2 - to the material)

$$l_{min}^{(1)} = -\left(p^{(1)} - p\right) \frac{4}{3} \pi r^{(1)3} + 4\pi r^{(1)2} \sigma.$$

Prior to the formation of the nucleus, the volume of the initial phase was equal to $V + V^{(1)} \left(V^{(1)} = \frac{4}{3} \pi r^{(1)3} \right)$, and the pressure p after the formation of the nucleus, the volume remained the same, and the pressure in the area where the nucleus appeared became equal $p^{(1)}$, тобто decreased by $p - p^{(1)}$. Accordingly $-\int V^{(1)} dp = -\left(p^{(1)} - p\right) \frac{4}{3} \pi r^{(1)3}$ the work was consumed, also, in the expression $l_{min}^{(1)}$ the surface energy $4\pi r^{(1)2} \sigma$ was included,

Since [11]

$$p^{(1)} - p = \frac{2\sigma}{r^{(1)}},$$

than expression $l_{min}^{(1)}$ became

$$l_{min}^{(1)} = \frac{4}{3} \pi \sigma r^{(1)2}.$$

As can be seen from the equation, the work on the formation of the pores and the work on the growth of pores are different.

The work of forming a nucleus of pores of critical size will be equal

$$l_{kr}^{(1)} = \frac{16}{3} \pi \sigma^2 \frac{v^{(1)}}{\phi_{\infty}^{1pre} - \phi_{\infty}^{(1)}},$$

Where $\phi_{\infty}^{(1)}$ - the chemical potential of the pore-forming gas (at an infinitely large volume of the gas).

Therefore, by using equations (1), (3) and (4) it is possible to calculate the porous structure of the hydrosilicate, which will make it possible to predict its thermophysical properties. This, in turn, is the basis for a new method of forming insulating hydrosilicates blocks .

The proposed method validation of creating new high-porosity insulation blocks based on hydrosilicates

For special conditions, JSC Motor Sich had produced hydrosilicates from the available raw materials. Their quality indicators are shown in Table 1.

The selected parameters for the calculations are: 200 °C heat treatment temperature, 21 min heat treatment time, 50% initial humidity of the mixture. The

average size of the granules is 20 mm. The required pore diameter is 2 mm. The pressure in the zone of the muffle furnace is assumed to be atmospheric.

Table 1 - Used raw material's quality indicators

Quality indicator	The value of indicator
Relative humidity,%, not more	55
Average density, kg / m ³ , not less	1650
The content of silicon oxide, %	46
The content of aluminum oxide, %	12
Content of iron oxide, %, not more	6
The content of calcium oxide, %, not more than	12

The obtained thermal insulation had the following thermophysical characteristics: coefficient of thermal conductivity 0.114-0.119 W/(m·°K), specific heat at 22 °C was equal to 1.33-1.41 kJ/(kg·°K).

Conclusions

The results of the study of the process of design a new highly porous insulating material based on hydrosilicates are presented in the paper. The obtained thermal insulation had the following thermophysical characteristics: coefficient of thermal conductivity 0.114-0.119 W/(m·K), specific heat at 22 C was equal to 1.33-1.41 kJ/(kg·°C). The results of the experiment only confirmed the correctness of the proposed dependencies.

The obtaining material can be used in the construction of buildings and structures, as it does not release toxic substances during operation and belongs to the group of non-combustible materials.

It is worth noting that thermal insulation was created from the proposed in the article of expanded clay, which was used at Motor Sich JSC (Zaporozhye, Ukraine) for special operating conditions. This is a testament to the practical value of the research.

REFERENCES

- [1] Yang K. Tests on high-performance aerated concrete with a lower density. *Construction and Building Materials*. 2015. № 74. P. 109–117.
- [2] Jin H. (2016) Experimental determination and fractal modeling of the effective thermal conductivity of autoclaved aerated concrete: Effects of moisture content. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2016. №92. P.589–602.
- [3] Tian T., Yan Y. Utilization of original phosphogypsum for the preparation of foam concrete. *Construction and Building Materials*. 2016. № 115. P. 143–152.

[4] Mel'nichuk M.D., Skuba V.M., Gusachuk D.A. Rozrobka monolitnogo teploizolyatsionnogo materiala na osnove spuchenogo perla. *Naukoví notatki Luts'kogo natsíonal'nogo tekhníchnogo uníversitetu*. 2016. № 54. P.214-219.

[5] Ratushnyak G.S., Kolesnik K.V., Katashins'kiy V.O. Vpervyye kharakteristiki suchach'ikh teploizolyatsionnykh materialov po ekologicheskoy termostabil'nosti i protsessual'nykh norm. *Uchebno-tekhnologicheskii, material'no-tekhnicheskii i stroitel'no-montazhnyi*. 2015. №2. P.153-157.

[6] Semko V., Leshchenko M., Rud A. Experimental study of variability of thermal conductivity of insulation materials. *Academic journal: Industrial Machine Building, Civil Engineering*. 2016. № 1. P. 60-67. http://znp.pntu.edu.ua/files/archive/ua/46_2016/9.pdf

[7] Bogomaz A.V., Krytskaja T.V., Karpenko A.V. Thermal node of the growth vessel of apparatus of large-sized crystals of germanium growing by the immersible pivoted shaper method. *Problems of Atomic Science and Technology*. 2013. № 87. P.179-182

https://vant.kipt.kharkov.ua/ARTICLE/VANT_2013_5/article_2013_5_178a.pdf

[8] Sternik K. Elasto-plastic Constitutive Model for Overconsolidated Clays. *International Journal of Civil Engineering*. 2017. № 15. P.431–440. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40999-017-0193-8>

[9] Joosep R. Moisture and Thermal Conductivity of Lightweight Block Walls. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2015. № 96. P. 1–9.

[10] Cheilytko, A.A., Ilin, S.V., Nosov, M.A. (2017). Creation of effective metallic thermal insulation constructions. *Scientific Bulletin of National Mining University*. №6 (162). p. 103–109.

<http://nvngu.in.ua/index.php/en/home/1539-engcat/archive/2017-eng/contents-6-2017/geotechnical-and-mining-mechanical-engineering-machine-building/4235-creation-of-effective-metallic-thermal-insulation-constructions>

Навчально-методичне видання
(українською мовою)

Чейлитко Андрій Олександрович
Ільїн Сергій Віталійович
Чижов Сергій Євгенович
Кірюшков Владислав Олександрович
Сидоренко Ольга Володимирівна

ОСНОВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЦІ

Навчальний посібник
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності 144 «Теплоенергетика»
освітньо-професійної програми «Теплоенергетика»

Рецензенти: *В. А. Банах, П.Є.Тарасов*
Відповідальний за випуск *А.О.Чейлитко*
Коректор *О.В. Сидоренко*