

УДК 621.35.035+621.3.001.5
№ держреєстрації 0117U002584
Інв. №

Національна академія наук України
Інститут електродинаміки НАН України

03057, м. Київ, пр.Перемоги, 56;
тел. (38044) 366-26-25; факс (38044) 366-26-86
e-mail: ied1@ied.org.ua; <http://ied.org.ua>

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Інституту
електродинаміки НАН України
академік НАН України



_____ О.В. Кириленко

«__» _____ 2021 р.

ЗВІТ
ЗА НАУКОВО-ДОСЛІДНОЮ РОБОТОЮ

«Розробка електронного та електротехнічного обладнання для нової технології плавлення та обробки скла та гірських порід індукційними струмами середнього діапазону частот»
(Остаточний)

Шифр теми – «Розплав»

Керівник НДР:
голов.наук.співроб. відділу №1,
член-кор. НАН України

І.В. Волков

2021

Рукопис закінчено 15 листопада 2021 р.

Результати цієї роботи розглянуто Вченою Радою ІЕД НАН України,
протокол № від
Облікова карта НДР

РЕФЕРАТ

Звіт: 221 с., 90 рис., 6 табл., 130 літературних джерел.

Об'єкт досліджень – установки індукційного нагріву для нової технології плавлення та обробки скла та гірських порід індукційними струмами середнього діапазону частот.

Метою роботи є наукове обґрунтування нової запропонованої в ІЕД НАН України енергоефективної технології плавлення скла та гірських порід індукційними струмами, дослідження і розробки електротехнічного обладнання, яке дозволить оптимізувати цю технологію та запровадити її використання в промисловості України.

Методи дослідження – аналітичне та чисельне розв'язання рівнянь електромагнітного поля для індукторів та взаємопов'язаних електромагнітних, гідродинамічних та теплових процесів при індукційному нагріву вихідного каналу скловарної печі. Вирішення поставлених у науково-дослідній роботі задач ґрунтується на положеннях теоретичної електротехніки, теорії електричних кіл з напівпровідниковими перетворювачами енергії, теорії планування експериментів, методах математичного та фізичного моделювання.

В результаті виконання теми «Розробка електронного та електротехнічного обладнання для нової технології плавлення та обробки скла та гірських порід індукційними струмами середнього діапазону частот» проведено аналіз сучасного стану технологічних процесів плавлення скла та гірських порід. Серед відомих технологій найбільш перспективним визначено індукційний метод плавлення, оскільки він дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати, забезпечити високий ККД, надійність та стабільність в роботі, високу керованість процесом нагріву, а також є екологічно безпечним.

Розроблено математичні моделі для розрахунку електромагнітних та теплових процесів у ваннах розплаву для різних частот індукційного нагріву, 4 просторового розподілу температур та магнітного поля. На базі цих досліджень розроблено методики розрахунку процесів плавлення скла та гірських порід та видано рекомендації по створенню нових конструкцій індукторів циліндричного та спірального типу, які можуть бути використані у спеціалізованих печах виробництва скла. Ці дослідження дозволяють визначити вимоги до інверторних джерел живлення, перетворювачів частоти, регуляторів стабілізованого струму та провести їх оптимізацію в електротехнічному комплексі індукційної плавки скла.

Розроблено перетворювач частоти на базі транзисторного інвертора струму для установок індукційного нагріву, що дозволяє здійснювати автоматичну настройку частоти інвертування на резонансну частоту навантажувального контуру та виконувати регулювання вихідної потужності в діапазоні від 0-100% з допомогою ШП-регулятора.

Також визначено науково-технічні основи та засоби адаптації розробленого електротехнічного комплексу плавки скла до мережі живлення обмеженої потужності з подальшим дослідженням та розробкою

комбінованих систем з пасивними і активними фільтрами та універсальних фільтрів.

Виконано математичне моделювання електромагнітних та теплових процесів в індукційній скловарній печі нової конструкції, в якій замкнутий магнітопровід охоплює як індуктор, так і тигель у вигляді порожнистого кільцеподібного жолоба. Здійснено порівняння основних характеристик печі з аналогічними характеристиками індукційних печей традиційного типу. Показано, що питомі витрати електроенергії та споживана з мережі потужність запропонованої печі істотно менша. Надано рекомендації щодо вибору параметрів печі, спрямовані на оптимізацію її основних енергетичних характеристик.

Розроблено та реалізовано математичну модель взаємопов'язаних електромагнітних, гідродинамічних та теплових процесів при індукційному нагріву вихідного каналу скловарної печі. Тривимірні моделі та створена на 5 її основі комп'ютерна методика дозволяють визначати оптимальні режими нагріву розплавленого скла шляхом вибору розташування індуктора та його параметрів, досягаючи при цьому необхідної температурної однорідності розплаву та його високої якості.

У випадку використання індукційного нагріву у виробничих каналах зі спеціальними режимами роботи було розглянуто можливість застосування індуктивно-ємнісних перетворювачів (ІЄП) джерела промислової напруги в джерело струму в якості джерела живлення для інвертора струму на транзисторах. Серед проаналізованих схем ІЄП визначено варіант, що має найкращі показники електромагнітної сумісності та величини встановлених потужностей реактивних елементів.

Визначено структури силових фільтрів гармонік струму для покращення показників електромагнітної сумісності установок індукційного нагріву з промисловою мережею електроживлення обмеженої потужності та розроблено імітаційні моделі та експериментальні макети таких фільтрів. Запропоновано гібридний фільтр, що має оптимальне співвідношення вартості елементів гібридної структури фільтра в залежності від заданої величини коефіцієнта гармонік струму та спектру струму, який споживається з мережі, що дало змогу досягти зниження встановленої потужності активного коректора.

Перспективні галузі застосування – рекомендовано для подальшого впровадження на профільних підприємствах Міністерства економічного розвитку і торгівлі.

Результати НДР викладені в 10 статтях (з них 6 відображено в наукометричній базі Scopus), в 1-й кандидатській дисертації, захищені 2 патентами України, повідомлені на 3-х наукових конференціях, підтвержені 2 актами впровадження.

Ключові слова: ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ , ІНДУКТОР, СКЛОВАРНІ ПЕЧІ , ГАРМОНІКИ СТРУМУ, ІНВЕРТОРИ, ФІЛЬТРИ, ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ.