

Міністерство освіти і науки України

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**

**РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕЦЕВОВО-ГРАФІТОВОЇ ПРОДУКЦІЇ ДЛЯ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ**

1. **ВАСИЛЬЧЕНКО Геннадій Миколайович** - кандидат технічних наук, доцент кафедри Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»).
2. **Деркач Василь Васильович** - керівник управління з технології та розвитку публічного акціонерного товариства «Український графіт» (ПАТ «Укрграфіт»).
3. **КАРВАЦЬКИЙ Антон Янович** - доктор технічних наук, професор кафедри НТУУ «КПІ».
4. **КУТУЗОВ Сергій Володимирович** - кандидат технічних наук, генеральний директор ПАТ «Укрграфіт».
5. **ЛЕЛЕКА Сергій Володимирович** - кандидат технічних наук, науковий співробітник науково-дослідного центру «Ресурсозберігаючі технології» НТУУ «КПІ».
6. **МІЩЕНКО Дмитро Дмитрович** - кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України.
7. **ПАНОВ Євген Миколайович** - доктор технічних наук, декан НТУУ «КПІ».
8. **ПЕТРОВ Борис Федорович** - президент ПАТ «Укрграфіт».
9. **ФРІДМАН Михайло Олександрович** - перший заступник Голови правління приватного акціонерного товариства «Ферротрейдинг» (ПрАТ «Ферротрейдинг»).
10. **ШИЛОВИЧ Ігор Леонідович** - кандидат технічних наук, доцент кафедри НТУУ «КПІ».

Реферат

Київ - 2015

Актуальність роботи. Розробка та впровадження у публічному акціонерному товаристві «Український графіт» (ПАТ «Укрграфіт») інноваційних технологій при виробництві електродної продукції обумовлені актуальною задачею зниження питомих витрат енергії та матеріальних ресурсів в технологічних процесах як, власне виробництва вугільно-графітової продукції, так і при застосуванні названих виробів у сталеплавильних, феросплавних електродугових печах металургійних та машинобудівних підприємств, анодах магнієвих електролізерів, катодах алюмінієвих електролізерів, футеровках доменних, феросплавних печей і електротермічних агрегатах хімічної промисловості, іншому обладнанні спеціального функціонального призначення з особливими вимогами до фізико-хімічних і механічних властивостей матеріалів.

Комплекс робіт, спрямований на розробку та впровадження інноваційних технологій на ПАТ «Укрграфіт», вирішує науково-технічні проблеми ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМПЛЕКСУ держави. Роботи з розробки новітніх технічних рішень виконано у співдружності фахівців таких підприємств та науково-освітніх закладів: ПАТ «Укрграфіт», Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (НТУУ «КПІ»), Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України (ІЕЗ ім. Є. О. Патона) та приватне акціонерне товариство «Ферротрейдинг» (ПрАТ «Ферротрейдинг»).

Актуальність робіт ґрунтується на положеннях «Державної програми розвитку та реформування гірничо-металургійного комплексу України до 2011 року» (постанова Кабінету Міністрів України від 28 липня 2004 р. № 967) та «Переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2015 року» (постанова Кабінету Міністрів України від 7 вересня 2011 р. № 942), а також Постановою Кабінету міністрів України від 12 вересня 2011р. №1130 «Про затвердження Державної програми розвитку внутрішнього виробництва».

Металургійна галузь України витрачає близько 30 % від загального енергоспоживання у промисловості. Енергетична складова у собівартості металургійної продукції становить близько 60 %, в той час як цей показник у провідних країнах світу не перевищує 25 %.

Аналіз сучасного виробництва електродів свідчить, що світова тенденція вдосконалення енергоємного електродугового та електролізного виробництва полягає у збільшенні сили електричного струму, який протікає через електрод, що потребує зменшення питомого електричного опору (ПЕО) власне електроду. Провідні виробники електродної продукції забезпечують ПЕО графітових електродів на силу струму (80–100)кА в діапазоні (4–5,5)мкОм·м. У відповідному діапазоні робочих струмів (80–100) кА провідні заводи СНД пропонують графітові електроди для електродугових печей з гіршими показниками (5–6,5) мкОм·м. Техніко-економічна оцінка показує, що зниження ПЕО електродів на 0,2 мкОм·м призводить до зменшення енерговитрат приблизно на (6–8) % на тонну металу, що на сьогодні є головним мотивуючим чинником вдосконалення електрометалургійної галузі промисловості та, зокрема, електродного виробництва.

Тобто, розробка та впровадження у виробництво електродів технічних рішень спрямованих на досягнення європейських та світових стандартів, сприяє підвищенню, перш за все, конкурентоздатності єдиного в Україні виробника електродної продукції, зміцненню стратегічно-важливих секторів вітчизняної економіки та науково-технічному розвитку технології вуглеграфітового і електрометалургійного виробництва. З іншого боку, місце підприємства на світовому та вітчизняному ринках, спрямованість на впровадження інноваційних розробок, внутрішній моніторинг із зменшення питомих витрат енергії, собівартості продукції сприяє інвестиційній привабливості ПАТ «Укрграфіт» та електрометалургійних підприємств України.

На початку другої половини 90-х років аналіз справ з випуском якісної продукції на ПАТ «Укрграфіт» показав, що для підвищення якості продукції та її конкурентоспроможності необхідно провести комплекс системних науково-технічних робіт з метою створення сучасного підприємства з імплементаваними інноваційними технологіями.

Мета роботи. Головна мета роботи полягає у створенні науково-обґрунтованого системного наскрізного циклу виробництва вуглецево-графітової продукції, рівень якості якої відповідає світовим зразкам і забезпечує конкурентоздатність підприємства. Вказана мета досягнута завдяки імплементації комплексу розроблених інноваційних заходів, у першу чергу науково-технічного та організаційного характеру, які проводилися на ПАТ «Укрграфіт» протягом 1998–2014 рр.

Для досягнення поставленої мети було розроблено та впроваджено у виробництво:

- систему науково-технічного визначення параметрів якості сировини для виготовлення вуглецево-графітової продукції;
- вдосконалено технологічні процеси на всіх стадіях переробки вуглецевмісної сировини;
- нове обладнання: для електрокальцинації антрациту, що немає аналогів у країнах СНД; комплексного приготування прес-маси для формування вуглецево-графітових виробів; випалювання «зелених» заготовок (печі випалювання виробничою потужністю 2500 т/міс, кожна);
- нові технічні заходи з підготовки та моніторингу технологічного процесу графітування з витримкою температур у повному обсязі керна, що забезпечують збільшення виходу придатної продукції на (5–10) %;
- числові моделі електрокальцинації наповнювача, пресування і випалювання заготовок та процесу нагрівання заготовок у печах графітування;
- наскрізний контроль якості вуглецево-графітових виробів;
- заходи зі зменшення викидів шкідливих газів на печах випалювання та графітування;
- системний науковий підхід до ведення технологічних процесів всього виробничого циклу виготовлення вуглецево-графітової продукції, що базується на наукоємному комп'ютерному інжинірингу основних ланок технологічного циклу виробництва;
- нові види продукції: ПБГ-2, ПБ10, ЕГСР 650, ДБУ-МП, композитні графітовані електроди для дугових сталеплавильних печей постійного струму, що не мають аналогів у світовій практиці.

Напрямки впровадження у виробництво. Мета роботи досягнута завдяки впровадженню у виробничу практику науково-обґрунтованих методик та інноваційного обладнання за такими напрямками.

«Вдосконалення вибору сировинної бази на підставі розроблених науково-технічних методів аналізу властивостей матеріалів» (ПАТ «Укрграфіт» при науковому супроводі ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАНУ і НТУУ «КПІ»):

- розроблено науково-обґрунтовану методику вибору сировинної бази виготовлення вуглеграфітової продукції;
- створено науково-виробничу лабораторну базу для визначення якості сировини для виготовлення електродів, яка відповідає світовому рівню за контролем сировини;
- впроваджено у виробничу практику наукові принципи дослідження мікроструктури коксів, визначення пористості матеріалів згідно ASTM E1245-00, визначення ступеню анізотропії згідно методики ПАТ «Укрграфіт» №06-26-01;
- впроваджено у практику інноваційні установки для вимірювання теплопровідності та електропровідності сипучих матеріалів до 1300 °С, що не мають аналогів у країнах СНД;
- отримано акредитацію на випробувальну лабораторію ПАТ «Укрграфіт» (Атестат про акредитацію №2Т645 НААУ).

«Впровадження інноваційних технологій виробництва вуглецевої продукції»

А) електрокальцинація матеріалів на основі вуглецю (ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ, ПАТ «Укрграфіт» і НТУУ «КПІ»):

- впроваджено у виробничу практику наукові результати досліджень електрокальцинації антрациту, на підставі яких визначено технологічні та технічні параметри модернізації електрокальцинаторів;
- впроваджено у виробництво лінію електрокальцинації антрациту у складі 7 електрокальцинаторів потужністю 1600 кВА кожний;
- впроваджено принципово нову конструкцію електрокальцинатора, з оптимальною геометрією робочої зони, що дозволяє каналізувати електричний струм і забезпечити одностадійне прожарювання антрациту при зменшенні питомих витрат електроенергії і збільшенні виробничої продуктивності обладнання;
- відпрацьовано та впроваджено у виробництво конструкцію електрокальцинатора для прожарювання антрациту, разом з пусковим та експлуатаційним регламентами його роботи, що забезпечує збільшення міжремонтного періоду обладнання у 3 та більше разів і забезпечує ПЕО кінцевого продукту не вище за 1000 мкОм·м;

Б) автоматизовані системи дозування компонентів наповнювача із забезпеченням достатньої точності відтворення технології (ПАТ «Укрграфіт»):

- впроваджено у виробничу практику автоматизовану систему дозування (АСУД) сухих компонентів шихти й сполучного кам'яновугільного пеку, що забезпечує стабільність технологічного процесу та якість кінцевого продукту;
- впроваджено нові регламенти експлуатації АСУД на підставі науково-технічних досліджень роботи автоматизованої системи дозування при створенні нових видів продукції;

В) модернізація переробки прес-маси для виготовлення заготовок електродів методом екструзії (ПАТ «Укрграфіт», НТУУ «КПІ»):

- впроваджено результати науково-технічних досліджень параметрів маси, призначеної для пресування заготовок електродів та теоретичного аналізу модернізації виробничої ділянки змішування компонентів та пресування суміші;
- впроваджено у виробництво сучасну установку для змішування «Eirich», яка забезпечує високий ступінь гомогенізації суміші, а також усталене сумішеутримання і термостабілізацію компонентів;
- впроваджено у виробництво нову сучасну технологію вакуумного пресування заготовок;
- впроваджено програмний комплекс з розрахунків тепло-гідродинамічного стану процесу пресування вуглеграфітових заготовок на пресі зусиллям 6300 т.с. з мундштуком різних типорозмірів, що дозволяє задавати теплові параметри пресового інструменту та швидкість пресування для прогнозування таких важливих технологічних параметрів як розподіл температури, швидкості, тиску та зсувних напружень;

Г) модернізація термічної обробки вуглецевих заготовок у печах випалювання (термічної обробки) нової генерації (ПАТ «Укрграфіт», НТУУ «КПІ»):

- введено в експлуатацію дві багатокамерні кільцеві печі (№7 і №10) із загальною продуктивністю понад 3200 т/міс;
- впроваджено систему автоматизованого поточного контролю та менеджменту відносно кінцевої якості заготовок;
- виконано модернізацію за проектом "PIECOSERWIS" багатокамерної печі № 7 з обладнанням газовими пальниками з керованими витратами газу та повітря, системою рекуперації та автоматизації пальників;
- розроблено технологічні регламенти випалювання електродної продукції в багатокамерних печах, які реалізують ресурсоенергозбереження та зменшення виходу бракованих виробів на 7–10 %.

В результаті модернізації досягнуті такі показники:

- витрати газу після модернізації в перерахунку на умовне паливо складають 0,124 т у.п./т продукції порівняно з 0,220 т у.п./т продукції до модернізації;
- питомий електроопір обпалених заготовок рівномірний та стабільний і становить не більше (42–45) мкОм·м;

Д) вдосконалення переробки нафтових і сланцевих коксів за рахунок впровадження технології прожарювання (ПАТ «Укрграфіт»)

- здійснено модернізацію пальникової системи оберткової печі прожарювання коксу згідно проекту, що виконано на підставі наукових та інженерних розрахунків;

В результаті модернізації досягнуті такі показники:

- питомі витрати природного газу на тонну виробленої продукції при прожарюванні коксу зменшилися від 36,1 м³/т до 31 м³/т;
- основні економічні показники печі збільшилися при прожарюванні сланцевого коксу на (15–20) %.

Е) вдосконалення технології графітування вуглецевих заготовок у високотемпературних печах (ПАТ «Укрграфіт», НТУУ «КПІ»)

- впроваджено методику підготовки та моніторингу технологічного процесу в печах графітування Ачесона цеху №4;
- впроваджено у виробничу практику наукоємний комп'ютерний інжиніринг для розробки ресурсоенергозберігаючих технологічних регламентів графітування нових видів продукції – числову модель визначення теплоелектричного та механічного стану печі графітування;
- впроваджено автоматизовану систему температурного моніторингу процесу графітування, що забезпечує енергоощадне керування виробничим циклом;
- впроваджено систему науково-обґрунтованих критеріїв для опису регламентів підводу електричної потужності у печі графітування;

- розроблено та впроваджено у виробництво енергозберігаючі регламенти роботи печей графітування за рахунок інтенсифікації графіків підведення електричної потужності, що збільшило кількість робочих кампаній печі на рік і вихід продукції запрограмованої якості;

В результаті впровадження інноваційних розробок досягнуті такі результати:

- витрати електроенергії на одну кампанію печі зменшилися на 10 % із заданими показниками якості графітованої продукції;
- вихід графітованих електродів, питомий електроопір яких відповідає світовим зразкам, становить до (96–98) %;
- випуск продукції збільшився на (15–20) % за рахунок інтенсифікації графіка підводу потужності в печі графітування електродів.

Ж) впровадження інноваційної технології обробки катодної продукції (ПАТ «Укрграфіт»)

- введено в експлуатацію автоматизовану лінію механічної обробки катодної продукції фірми "WASSMER" з сучасною системою пиловловлення.

З) освоєння нових марок вуглецево-графітових виробів, що забезпечують конкурентоспроможність на світових ринках (ПАТ «Укрграфіт», ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАНУ і ПрАТ «Ферротрейдінг»)

- графітованих брусів і анодів для магнієвих електролізерів, які відрізняються зниженим нормованим питомим електричним опором, збільшеною щільністю і підвищеною механічною міцністю;
- графітованих електродів, які використовуються на надпотужних електросталеплавильних печах і установках позапічної обробки сталі «ківш-піч»;
- катодної продукції і вуглеграфітової футеровочної продукції для підприємств чорної і кольорової металургії України та країн далекого зарубіжжя;
- маси холодноабивної для алюмінієвих електролізерів та металургійних печей;
- електродів Ø650мм марки ЕГСР, що дало змогу здійснити імпортозаміщення електродів на новому агрегаті сучасного підприємства ТОВ «МЗ «Дніпросталь», м. Дніпропетровськ;
- графітованих подових блоків марки ПБ10 на основі електрокальцинованого коксу та графітованих подових блоків марки ПБГ-2, що дозволило здійснювати поставки продукції для найбільш визнаних виробників первинного алюмінію, таких як «Aluminium Pechiney», Франція, «Dubal», ОАЕ, «Hydro», Норвегія та ін.;
- мікропористих вуглецевих блоків марки ДБМП, що дозволило збільшити тривалість міжремонтних кампаній доменних і феросплавних печей, інтенсифікувати процес плавлення;
- композитних графітованих електродів для дугових сталеплавильних печей постійного струму, що не мають аналогів у світовій практиці;

у підсумку освоєння випуску нових марок вуглецево-графітових виробів на ПАТ «Укрграфіт» забезпечило підвищення конкурентоспроможності продукції і імідж підприємства на світовому ринку, тобто дало можливість конкурувати зі світовими лідерами-виробниками електродної продукції, здобувати нові ринки збуту.

К) впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій (ПАТ «Укрграфіт»)

- споруджена та введена в експлуатацію утилізаційна котельня з трьома котлами-утилізаторами РК 25 14/320 виробничою потужністю до 25 т перегрітої пари на годину з регенерацією теплоти димових газів за печами прожарювання коксу та антрациту, що дозволяє економити витрати природного газу до 1000 м³/год.

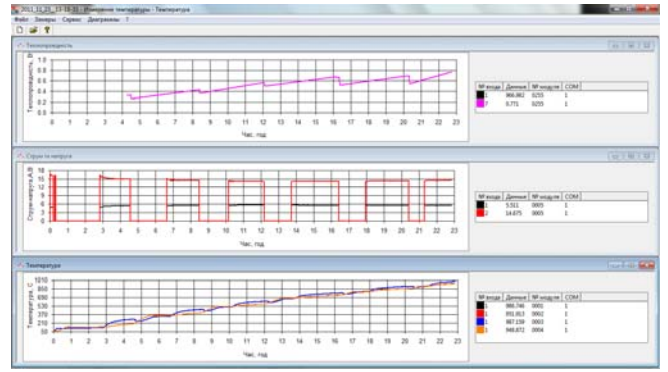
Методики впровадження

Наукові методики:

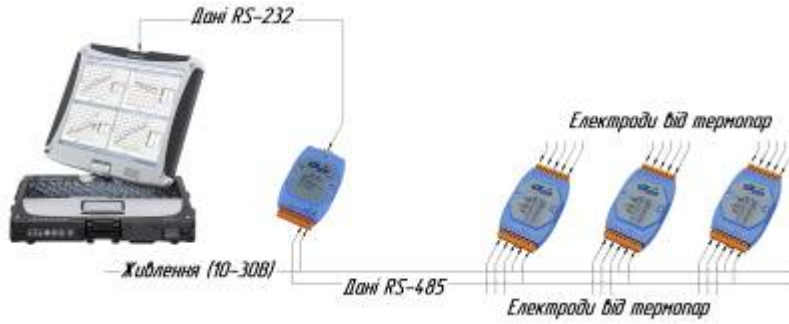
- інноваційна розробка: промислова установка для вимірювання тепло- та електропровідності сипучих матеріалів до температур 1300 °С, що немає аналогів в СНД;



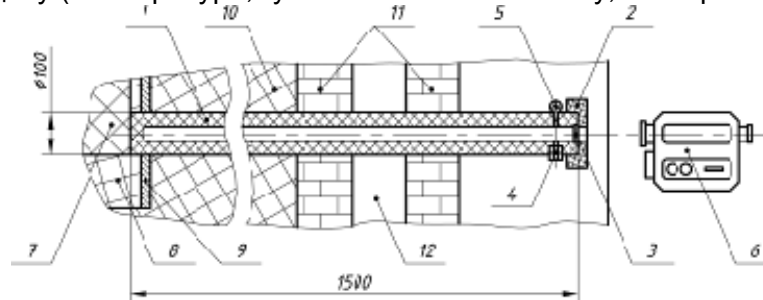
Установка для вимірювання тепло- та електропровідності сипучих тіл



Програмно-апаратне забезпечення експериментальних досліджень



– вимірювальний мобільний комплекс для визначення фізичних параметрів технологічного процесу (температури, густини теплового потоку, електричних параметрів та ін.);



– візирна труба (патент України 2781) для вимірів високих температур (до 2500 °С) – інноваційна технологія;

– наукоємний комп'ютерний інжиніринг основних ланок технологічного циклу виробництва вуглецево-графітової продукції

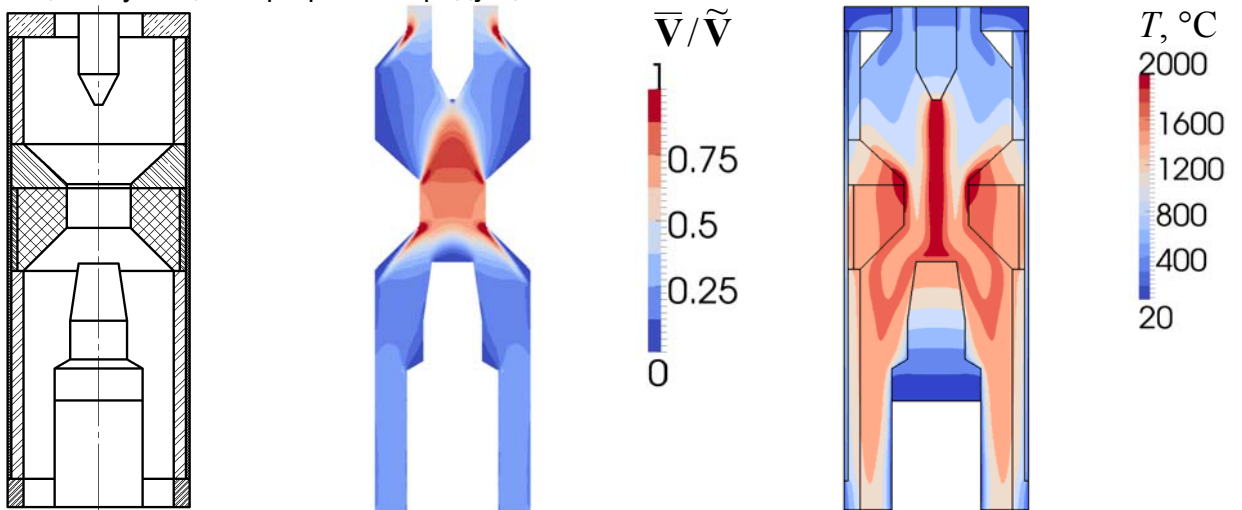
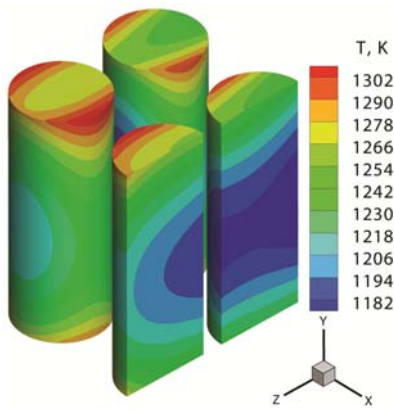
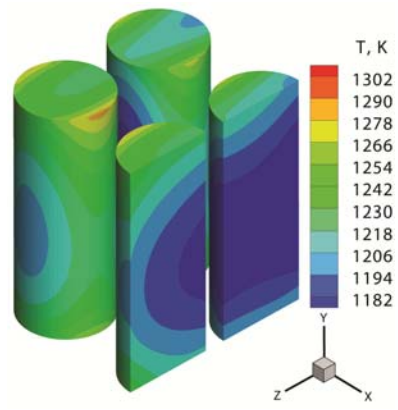


Схема та фізичні поля під час одностадійного прожарювання антрациту в електрокальцинаторі

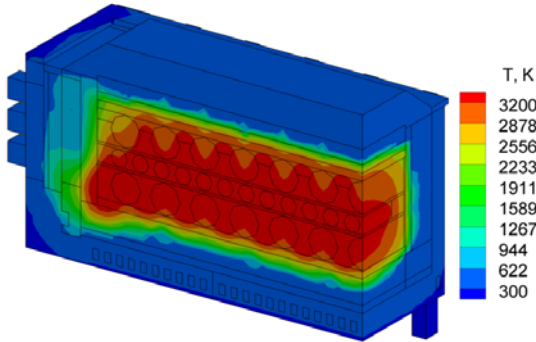


a – $\Delta T = 140,2$ K

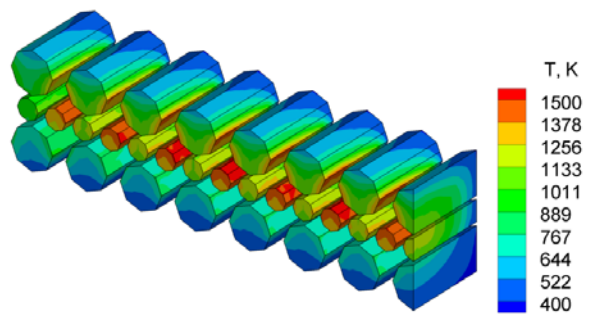


б – $\Delta T = 116,1$ K (17,2 %)

Розподіл температури у заготовках на кінець кампанії випалу у камері печі без (*a*) та з використанням тирси (*б*) в шарі засипки

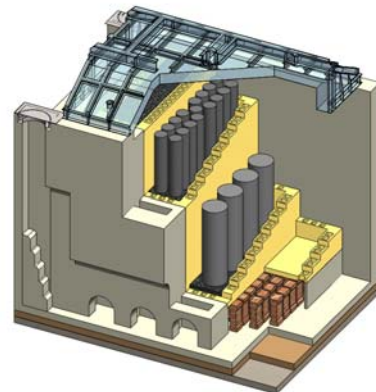
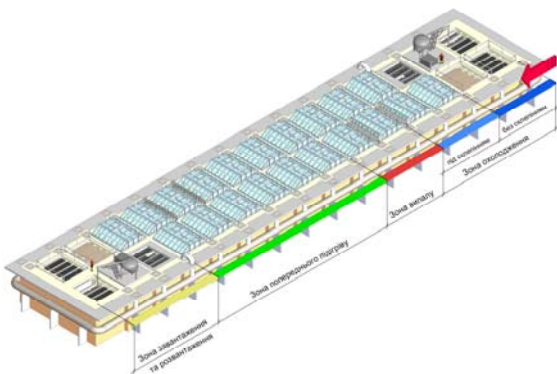


Температурне поле печі графітування Ачесона



Температурне поле електродів, що графітуються

Науково-виробничі методики:

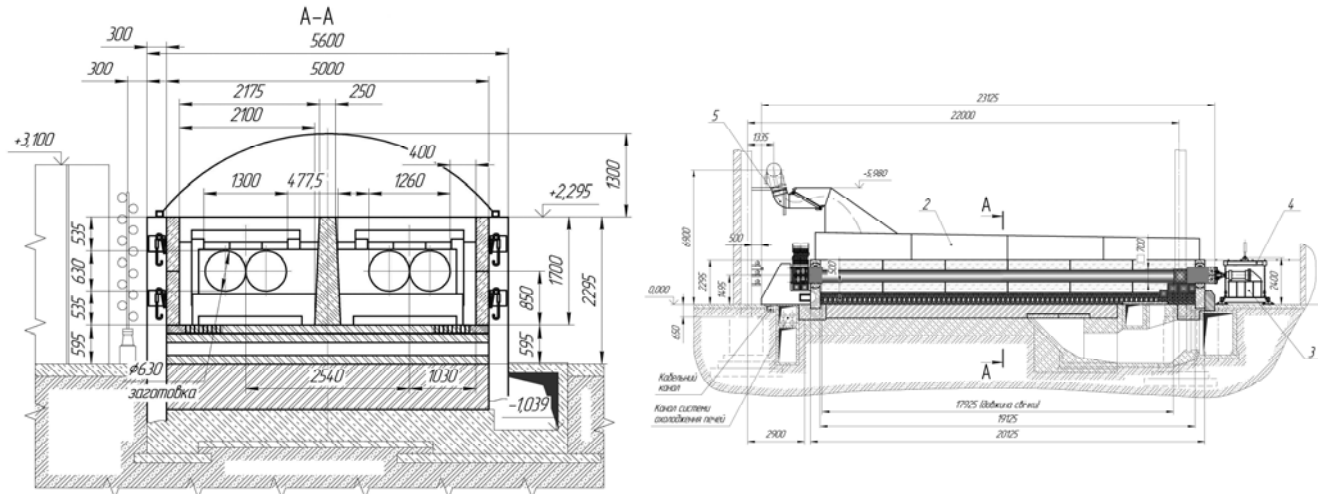


Піч випалювання (інноваційна технологія)



Нова автоматизована лінія механічної обробки вуглецевих блоків із сучасною системою пиловловлення

Інженерні методики:



Проект інноваційної печі графітування с прямим нагрівом заготовок

Інноваційні розробки колективу авторів впроваджено у виробництво завдяки детально розробленим технічним проектам. Спроековано та впроваджено установки одностадійного електрокальцинування антрациту. У практику впроваджено комплексну оцінку енергоефективності нестационарного процесу нагрівання заготовок у печах випалювання та графітування, що дозволяє оперативно аналізувати та керувати прибутковими та видатковими статтями у технологічних процесах, зокрема, визначати потенціал енергозбереження у промисловому обладнанні.

Економічна ефективність роботи. Економічна ефективність роботи має подвійний ефект, який полягає власне у підвищенні прибутковості підприємства, збільшенні відрахувань акціонерам, а також сприяє збільшенню податкової складової підприємства у бюджетній сфері і складається з:

- економії коштів та часових витрат при пошуково-маркетингових заходах щодо постачання сировини для виготовлення електродів;
- впровадженні конкурентоспроможного виду продукції (графітовані бруси і аноди верхнього і нижнього вводів для магнієвих електролізерів, які просочені метафосфатом), економічний ефект від реалізації якого склав 92124,3 тис. грн;
- впровадженні нового виду продукції (катодних блоків ПБ-5 і ПБ-7), економічний ефект від реалізації якого склав 7087,07 тис. грн;
- впровадженні нового виду продукції (доменних блоків ДБУ-А та ДБУ-Б), економічний ефект від реалізації якого загалом склав 31276,1 тис. грн;
- впровадженні нового виду продукції ПБГ-2, ПБ10, ДБУ-МП, економічний ефект від реалізації яких загалом склав 19785,25 тис. грн;
- впровадженні нового виду продукції (маси холоднабивної марки МХНП для алюмінієвих електролізерів та маси холоднабивної марки МХТД для металургійних печей) економічний ефект від реалізації якого загалом склав 16698,42 тис. грн;
- модернізації електрокальцинатора №1,2,3,5,7 у цеху №2, яка забезпечила економічний ефект 10038,8 тис. грн;
- впровадження пальникового пристрою фірми «PIECOSERWIS» на прожарювальній печі №3 змішувально-пресового цеху №2, що забезпечило економічний ефект 187,1 тис. грн;
- капітальний ремонт із реконструкцією випалювальної печі №7 цеху №3 за проектом польської фірми «PIECOSERWIS», що забезпечило економічний ефект 40228,3 тис. грн;
- впровадження теплоізолюючих зонтів на секціях цеху графітування, які забезпечили економічний ефект 22961,1 тис. грн;
- застосування числових моделей теплоелектричного стану печей графітування цеху № 4 забезпечило економічний ефект 9908,7 тис. грн;
- впровадження в експлуатацію станка механічної обробки вуглецевих блоків фірми «Tong-Tai TNL-130AL», що забезпечило економічний ефект 218,16 тис. грн;
- впровадження швидкісного змішувача цеху № 2 фірми «EIRICH», який забезпечив економічний ефект 7417,1 тис. грн;

- реконструкція електрокальцинаторів цеху № 2, що забезпечило економічний ефект 2291,5 тис. грн;
- введення в експлуатацію утилізаційної котельної, що забезпечило економічний ефект 78622 тис. грн;
- модернізація підстанції «Графіт», що забезпечило економічний ефект 21045 тис. грн.

Загальний економічний ефект, отриманий завдяки комплексу робіт «Розробка та впровадження інноваційних технологій виробництва вуглецево-графітової продукції для електрометалургії» складає **359888,9 тис. грн.**

Якість вуглецевої і вуглеграфітової продукції ПАТ «Укрграфіт» перевершує аналогічну продукцію провідних світових виробників, а за ціною продукція вітчизняного виробництва приблизно на 20 % нижча, ніж у провідних світових виробників.

Екологічна складова загальної ефективності роботи. Відповідно до сучасних вимог державного регулювання у екологічній сфері та міжнародних тенденцій «зеленого виробництва» промислові підприємства впроваджують системи контролю та захисту навколишнього середовища. На ПАТ «Укрграфіт» поряд з традиційними технологіями захисту довкілля за допомогою встановлення фільтрів, вловлювачів забруднень з 2013 р. постійно впроваджується методика захисту довкілля, відома як методика з більш чистого виробництва Організації Об'єднаних Націй з промислового розвитку (ЮНІДО). Підприємство отримало сертифікат ЮНІДО, як таке, що впровадило заходи з більш чистого виробництва:

- зменшення викидів CO₂ на стадії електрокальцинації антрациту завдяки розробці і впровадженню 7 електрокальцинаторів, що дозволило виключити використання природного газу та зменшити вигар вуглецю наповнювача на (15–18) %;

- модернізація печей обпалення за рахунок встановлення газових пальників з керованими витратами газу та повітря завдяки системі автоматизації, що дозволило знизити витрати газу з 0,220 т у.п./т до 0,124 т у.п./т;

- реконструкція печей прожарювання шляхом впровадження спалювання газоповітряної суміші в автоматичному режимі з новим зворотнім зв'язком по температурі летючих речовин, що дозволило зменшити питомі витрати природного газу на тонну готової продукції з 36,1 м³/т до 31 м³/т, що забезпечує зменшення викидів CO₂ на 9,8 кг/т;

- впровадження енергозберігаючих регламентів печей графітування за рахунок інтенсифікації графіків підведення електричної потужності, що скоротило час кампанії печі на (6–8) % і зменшило кількість шкідливих викидів та теплове забруднення довкілля, а також витрати електроенергії на 8 %. В розрахунку на одну кампанію печі графітування в залежності від її електричної потужності зменшення викидів CO₂ складає в середньому більш ніж 20 т.

Апробація роботи. Результати роботи мають науково-практичний характер і втілені у виробництво у вигляді обладнання та технологічних регламентів. Наукова складова роботи узагальнена у вигляді друкованих видань (монографій, статей, доповідей, патентів) і розповсюджена як наукове супроводження виробництва вуглецево-графітової продукції. Результати роботи висвітлені у матеріалах міжнародних конференцій та пресі України.

За результатами наукових досліджень :

- захищено 1 докторську і 7 кандидатських дисертацій;
- опубліковано 10 монографій, 108 статей (з них 33 статті в журналах, що входять до наукометричної бази SCOPUS), отримано 51 патенти України, Російської Федерації і Республіки Білорусь на винаходи, корисні моделі та промислові зразки.

Результати роботи доповідалися на більш ніж 25-и міжнародних наукових конференціях: наук.-техн. конф. «Електротермия – 2004», 1-4 черв. 2004, С.-Петербург, РФ, 2004; Міжн. сем. «Возможности удлинения сроков эксплуатации металлоприемников доменных печей до 25-30 лет», 26-27 жовт. 2004. Дніпропетровськ, 2004; IX Міжн. наук.-практ. конф. «Наука і освіта - 2006». Дніпропетровськ, лют. 2006; XII Міжн. конф. «Алюминий Сибири» 5-7 вер. 2006, Красноярськ, РФ, 2006; 4-й Міжн. конф. - МЕЕ'2006, 18-22 вер. 2006, Жуковка, Крим, Україна, 2006; Виставка-презент. іннов. і інцест. проектів київських наук. та пром. підприємств «Енергоефективність та ресурсозбереження у промисловості», Київ, 23 лист. 2006; XII Міжн. конф. «Алюминий Сибири», 5-7 вер. 2006, Красноярськ, РФ, 2006; XXII Міжн. конф. «UKR-POWER 2007», Ялта, 11-15 вер. 2007; XIII Міжн. конф. «Алюминий Сибири» 11-13 вер. 2007, Красноярськ, РФ, 2007; XIV Intern. conf. exhib. «Aluminium of Siberia – 2008; Krasnoyarsk, Russia, Sept. 10—12, 2008; XXV Межд. конф. UKR-POWER 2009, 24–25 июня 2009, АР Крым, Ялта, 2009; VI Межд. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях» МЕЕ'2010, 20–24 сент. 2010, АР Крым, Понизовка, 2010; XVII Intern. Conf. «Aluminium of Siberia», V Conference «Metallurgy of Non-Ferrous and Rare Metals», Krasnoyarsk, Russia, Sept. 7—9, 2011; Межд. научно-практ. конф.

«UKR-POWER», 07—09 дек. 2011; XXIV Межднар. науч. конф. «Математические методы в технике и технологиях» – ММТТ-24, Пенза, РФ, 20-22 сент. 2011; IV Межд. конгр. «Цветные металлы», Красноярск, РФ, Сент. 5—7, 2012; VII Межд. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях» МЕЕ'2012, 24–28 сент. 2012, АР Крым, Кацивели, 2012; III Міжн. наук.-практ. конф. «Комп'ютерне моделювання в хімії, технологіях і системах сталого розвитку», 10–12 травня 2012, Київ–Рубіжне, 2012; IV Межд. конгр. «Цветные металлы», Красноярск, РФ, Сент. 5—7, 2012; Межд. конф. огнеупорщиков и металлургов, Москва, РФ, 14–15 марта, 2013; XXXIII междун. науч.-практ. конф. «UKR-POWER 2013», Ялта, 24–28 июня 2013; VIII Междун. конф. : «Проблемы промышленной теплотехники», Киев, 8–11 окт. 2013; VIII Міжн. конф. «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий» МЕЕ'2014, вер. 2014, Київ, 2014 та ін.

Порівняння рівня розробок з аналогами. Створено нове виробництво, складові частини та технологічний цикл якого в цілому побудовані на базі сучасних науково-технічних принципів управління:

- технологічним та виробничим процесами;
- якістю кінцевого продукту.

Вагомим свідченням ефективності результатів роботи є відповідність якості вуглецево-графітової продукції світовому рівню. Наприклад, порівняльні дані якісних характеристик вуглецевих доменних блоків, які визначалися японським виробником електродів, ілюструють перевагу ПАТ «Укрграфіт».

Технічні характеристики	Од. вим.	Величина показника	
		<i>ПАТ «Укрграфіт»</i>	<i>Японський виробник</i>
Уявна щільність	г/см ³	1,6	1,56
Істинна щільність	г/см ³	1,95	1,95
Загальна пористість	%	17,9	20
Відкрита пористість	%	14,9	17,5
Діаметр основної пори	μм	3,9	6
Вміст зольних домішок	%	2,0	5
Постійна лінійна зміна	%	0,03	0,05

Якість продукції ПАТ «Укрграфіт», яка відповідає світовим зразкам, досягнута при зменшенні питомих витрат на відповідних технологічних ділянках:

- зменшення витрат природного газу від 14 % до 43,6 % на тонну готової продукції;
- зменшення питомих витрат електроенергії при електрокальцинації антрациту за одностадійною технологією на (15–20) %;
- зменшення витрат електроенергії на 1 кампанію печі графітування Ачесона від 6 % до 10 %;
- підвищення виходу графітованих електродів (до 96–98 %), що відповідають якості світових зразків.

Наукова новизна. При виконанні роботи вперше отримано такі наукові результати:

1. Створено науково-обґрунтовану систему оціночних параметрів якості сировинної бази, що дозволяє оптимізувати рецептуру прес-маси за даними фізичних властивостей вихідних сировинних матеріалів: міцності, коефіцієнтів температурного розширення, адсорбції, мікроструктури коксу, реологічних характеристик пеків та ін.

2. Виконано науково-технічне обґрунтування методики вимірювань визначальних теплофізичних та електричних властивостей сипучих матеріалів до температур 1300 °С, що дозволяє створювати технологічні суміші з сипучих матеріалів із заздалегідь програмованими властивостями.

3. Отримано експериментальні дані з температурних залежностей фізичних величин: теплопровідності, питомого електричного опору коксу та антрациту, інтенсивності газовиділення та коефіцієнта термічного розширення «зелених» електродних заготовок.

4. Досліджено закономірності прожарювання антрациту в електрокальцинаторі на фізичній моделі та лабораторній установці з візуалізацією процесу прожарювання. Отримано закономірності протікання електричного струму через насипний шар антрациту, зафіксовано фізичне явище «термокінетичної пам'яті антрациту».

5. Отримано дані термокінетичних досліджень при прожарюванні антрациту і теоретично визначено вплив теплового ефекту хімічних реакцій на ефективну потужність електрокальцинатора.

6. Запропоновано наукову концепцію одностадійної електрокальцинації антрациту, що базується на фундаментальних дослідженнях фізичних процесів у сипучих вуглецевих матеріалах, науковому аналізі структурних перетворень і зміни термодинамічних характеристик антрациту, що дозволило створювати інноваційні конструкції електрокальцинаторів.

7. Розроблено фізичні і математичні моделі теплоелектричного, механічного та теплогідродинамічного стану робочого середовища у технологічному обладнанні електродного виробництва, а саме в електрокальцинаторах, устаткуванні пресування заготовок, печах випалювання типу Рідгамера, печах графітування непрямого та прямого нагрівання, які необхідні для відпрацювання інноваційних технологічних та конструктивних параметрів устаткування.

8. Теоретично досліджено вплив конструкції дросельовального пристрою – дросель-шайби, геометричних параметрів дросель-шайби, активної електричної потужності та продуктивності на визначальні технологічні показники роботи електрокальцинаторів.

9. Теоретично досліджено вплив параметрів технологічного регламенту, схем завантаження, конструкції камери печі Рідгамера, фізичних властивостей матеріалів та газового середовища на процес випалювання електродної продукції у багатокамерних печах випалювання, що дало можливість визначити раціональні технічні рішення з вдосконалення регламентів та модернізації обладнання.

10. Проведено числовий аналіз впливу визначальних параметрів технологічного регламенту та обладнання на теплоелектричний стан печей Ачесона, що дозволило розробити найбільш ефективні заходи ресурсо- та енергозбереження.

11. Експериментально встановлено та теоретично підтверджено фізичну залежність уповільнення темпу зростання температури нижніх рядів ядра в печах Ачесона від процесу газифікації керна коксу по реакції «водяного газу» та масопереносу вологи в сипучому матеріалі. З'ясовано, що визначальний вплив на формування температурного режиму графітування електродних виробів в діапазоні температур 200–600 °С чинить процес газифікації керованої пересипки.

12. Створено наукові засади з розробки інноваційних композитних (ґнотових) графітованих електродів для дугових сталеплавильних печей постійного струму, що не мають аналогів у світовій практиці.

Отримали подальший розвиток:

1. Математичне формулювання зв'язку між рухом окремих частинок сипучого середовища у дискретній постановці та нерозривним полем швидкості системи як суцільного середовища.

2. Теоретичні та експериментальні дослідження статистики та динаміки сипучих матеріалів з точки зору дискретної постановки задачі, що забезпечило розробку раціональних регламентів та обладнання прожарювання наповнювачів, випалювання та графітування електродної продукції.

3. Теоретично-експериментальні дослідження впливу динаміки газовиділення зв'язувального на температурний регламент випалювання електродних виробів.

4. Фізичні уявлення про характер температурного поля робочої зони печі графітування (в інтервалі температур до 2500 °С), що дозволило запропонувати низку технічних рішень, які забезпечують скорочення енергоспоживання, сприяють вдосконаленню процесу, підвищенню якості електродів та надійності обладнання.

Практична значимість. Практична значимість роботи полягає у впровадженні:







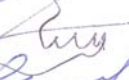
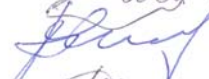


- системного науково-технічного регламенту організації виробничого циклу випуску вуглецево-графітової продукції;
- сучасних науково-технічних методів проектування технологічного обладнання та розробки регламентів його експлуатації на базі наукоємного комп'ютерного інжинірингу;
- нових науково-обґрунтованих технічних розробок та обладнання, що забезпечують параметри технологічних процесів та якість готової продукції на рівні сучасних світових зразків;
- нових методів управління технологічними процесами, що базуються на принципах моніторингу фізико-хімічних, механічних та теплоелектричних параметрів;
- міжнародних стандартів ISO 9001:2000, ISO 9001:2008 (система менеджменту якості), ISO 14001:2000, ISO 14001:2004 (система екологічного менеджменту), OHSAS 18001:2003, OHSAS 18001:2007 (система менеджменту промислової безпеки та охорони праці), ISO 17025 (акредитація випробувальної лабораторії);

- нових державних стандартів на електродну продукцію, яка відповідає світовим зразкам: ДСТУ 4494:2005 «Електроди зграфітовані та ніпелі до них», ТУ У 27.9-00196204-005:2013 «Блоки для футерування алюмінієвих електролізерів», ТУ У 31.6-00196204-004:2004 «Аноди та бруси графітовані для магнієвої промисловості», ТУ У 31.6-00196204-007:2011 «Блоки подові для футеровки алюмінієвих електролізерів», ТУ У 31.6-00196204-025:2004 «Блоки вуглецеві для футеровки доменних та металургійних печей», ТУ У 31.6-00196204-021:2004 «Маса вуглецева холодонабивна подова для алюмінієвих електролізерів», ТУ У 31.6-00196204-015:2002 «Маса вуглецева холодонабивна для доменних печей»;
- нових марок вуглецево-графітових виробів (ПБГ-2, ПБ10, ЕГСП 650, ДБУ-МП, композитні графітовані електроди для дугових сталеплавильних печей постійного струму, що не мають аналогів у світовій практиці), що у підсумку забезпечує конкурентоспроможність ПАТ «Укрграфіт» на світових ринках (продукція постачається більш ніж у 30 країн світу).

Розвиток роботи в період з 2008–2014 рр. За цей період робота отримала значний розвиток у таких напрямках:

- апробація наукових результатів: захищено 1 докторську і 4 кандидатських дисертацій; опубліковано 6 монографій, 2 навчальних посібника, 65 статей, отримано 15 патентів України і РФ на винаходи, зроблено понад 15 доповідей на міжнародних науково-технічних конференціях;
- впроваджено у виробництво на ПАТ «Укрграфіт»: реконструкція електрокальцинаторів; введено в експлуатацію нову автоматизовану лінію механічної обробки катодної продукції «WASSMER»; реконструкція печі випалювання №10 за проектом фірми «RIEDHAMMER»; споруджено та введено в експлуатацію утилізаційну котельню; модернізація силової електропідстанції «Графіт» 150/10 кВ; наукоємний комп'ютерний інжиніринг основних ланок технологічного циклу виробництва вуглецево-графітової продукції; ресурсоенергозберігаючі технологічні регламенти: електрокальцинаторів при безперервній термообробці антрациту, пресування подових блоків, випалювання «зелених» заготовок у печах Рідгамера з врахуванням динаміки інтенсивного газовиділення зв'язувального, довгомірних заготовок у печах Ачесона;
- нові види продукції: ПБГ-2, ПБ10, ЕГСП 650, ДБМП, композитні графітовані електроди для дугових сталеплавильних печей постійного струму, що не мають аналогів у світовій практиці;
- економічний ефект за період з 2008 р. складає понад 200 млн грн.

Наукові результати роботи відображено у 10 монографіях, у 135 статтях та доповідях на конференціях (з них 34 статті в журналах, що входять до наукометричної бази SCOPUS). Новизну та конкурентоспроможність технічних рішень захищено 51 патентами, в т.ч. 12 закордонними. За даною тематикою захищено 1 докторську і 7 кандидатських дисертацій.

 Васильченко Геннадій Миколайович,
 Деркач Василь Васильович,
 Карвацький Антон Янович,
 Кутузов Сергій Володимирович,
 Лелека Сергій Володимирович,
 Міщенко Дмитро Дмитрович,
 Панов Євген Миколайович,
 Петров Борис Федорович,
 Фрідман Михайло Олександрович,
 Шилович Ігор Леонідович.