Реферат роботи

кандидата технічних наук, наукового співробітника Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України Степаненка Дмитра Олександровича «Оптимізація шлакового режиму доменної плавки на основі розроблених нових критеріїв та методик в сучасних сировинних умовах роботи доменних печей України»

**Актуальність роботи.** Основні показники доменної плавки - продуктивність, якість чавуну і витрати коксу в значній мірі визначаються металургійними властивостями шихтових матеріалів (міцність, крупність, відновлюваність, тугоплавкість і т.д.), що завантажуються в піч. Як відомо мінералогічний склад залізорудних матеріалів шихти, що відображає повний хімічний склад і структуру шихтових матеріалів, є визначальним показником при оцінці їх металургійних властивостей і як наслідок показників доменної плавки.

В процесі відновлювальної плавки матеріалів шихти утворюються рідкі продукти - чавун і шлак, які є наслідком фазової зміни шихтових матеріалів у доменній печі і характеризують тепло- і масообміні процеси доменної плавки. При цьому шлаковий розплав, а саме його хімічний склад і фізико-хімічні властивості, в технологічному процесі виробництва чавуну є одними з найважливіших параметрів, що визначають якість чавуну і енергетичні витрати його виплавки.

В той час, в реальних умовах доменної плавки в печі відбувається засмічення шлакового розплаву різними вуглецевими матеріалами (коксовий дріб'язок, вугільне паливо, сажа тощо), що обумовлює гетерогенність розплавів доменних шлаків і як наслідок негативно позначається на фізико-хімічних властивостях шлакового розплаву.

У зв'язку з цим актуальними є дослідження спрямовані на оцінку фазового складу шлакових розплавів і його вплив на технологічні властивості розплавів з метою забезпечення виплавки чавуну необхідної якості та зниження енергетичних витрат.

**Мета роботи** полягає в розробці критеріїв і методики оцінки фазового складу розплавів доменних шлаків для вибору раціонального шлакового режиму, а також їх використання в системах АСУТП доменної плавки, що забезпечує виплавку чавуну необхідної якості і зниження енергетичних витрат у конкретних сировинних і технологічних умовах роботи доменної печі.

**Основні науково-технічні результати роботи** полягають у наступному:

1. На основі аналізу та узагальнення існуючих теорій, основних моделей і концепцій будови шлакових розплавів для моделювання структури шлакового розплаву обґрунтовано вибір теорії спрямованого хімічного зв'язку, яка підтвердила свою працездатність при прогнозуванні технологічних властивостей шлакових розплавів.

2. Сформована представницька вибірка експериментальних даних про:

- фазовий склад чотирьохкомпонентної системи CaO-MgO-Al2O3-SiO2 і складових її трикомпонентних систем: CaO-Al2O3-SiO2, SiO2-MgO-Al2O3, MgO-CaO-Al2O3; CaO-MgO-SiO2, а також про властивості мінералогічних фаз, характерних для доменних шлаків в межах кристалізації системи CaO-MgO-Al2O3-SiO2;

- в'язкість натуральних, синтетичних і напівсинтетичних розплавів доменних шлаків, що містять різні за гранулометричним складом і природою вуглецеві матеріали (кокс, сажа, вугільний пил);

- вплив різних за гранулометричним складом і природою вуглецевих матеріалів на в'язкість реальних доменних шлаків.

3. На основі концепції спрямованого хімічного зв'язку з використанням інтегральних параметрів міжатомної взаємодії  (середньостатистичне число електронів, що локалізуються на орбіталях в напрямку зв'язку катіон-аніон, виконує функцію хімічного еквівалента системи) і  (показник стехіометрії системи, рівний відношенню чисел катіонів до числа аніонів) розроблена методика оцінки кристалізаційної здатності розплавів доменних шлаків.

4. Розроблено та науково обґрунтовано критерій оцінки гетерогенізації розплавів доменних шлаків - температура гетерогенізації (), яка характеризує температуру шлакового розплаву при якій реалізується його потенційна сіркопоглинальна здатність з мінімальними енергетичними витратами (заявка на винахід № а 201301986 від 18.02.2013р.).

5. З метою прогнозування температури гетерогенізації розплавів доменних шлаків розроблена модель розрахунку питомої електропровідності доменних шлаків, що враховує повний хімічний склад шлаків і температуру їх розплавів.

6. Виконано аналіз зв'язку температури ліквідус і в'язкості шлакових розплавів з мінералогічним складом, а також експериментальні дослідження фазового та мінералогічного складів реальних доменних шлаків і встановлено зв'язок фазового складу розплавів доменних шлаків з їх фізико-хімічними властивостями.

7. З позицій мінералогічного складу доменних шлаків за даними діаграми стану системи геленіт (2CaO·Al2O3·SiO2) - окерманіт (2CaO·MgO·2SiO2) обґрунтовано доцільність врахування відношення Al2O3/MgO при виборі основності шлаку (CaO/SiO2) за встановленою їх залежністю CaO/SiO2 = *f* (Al2O3/MgO), що забезпечує виплавку чавуну необхідної якості і зниження енергетичних витрат у конкретних сировинних і технологічних умовах роботи доменних печей (ДП) заводів України.

8. Розроблено алгоритмічне й програмне забезпечення розрахунку нормативного мінералогічного складу доменних шлаків за даними їх хімічного складу, яке рекомендовано для вибору базового складу шлаків і оперативного контролю шлакового режиму доменної плавки.

9. Запропоновано критерії, що характеризують відносну зміну величини властивостей шлакового розплаву у відсотках на кожен відсоток вуглецевих домішок і моделі їх розрахунку з використанням інтегральних параметрів складу та структури шлакових розплавів ( і ). Розроблено рівняння для розрахунку властивостей розплавів доменних шлаків з вуглецевими домішками на основі даних відповідних градієнтів і кількості добавки.

10. Проаналізовано лабораторні дослідження міцності різних коксів та їх фракційного складу в умовах термомеханічного впливу, близького до умов в доменній печі та показано, що утворення пилоподібних фракцій коксу відповідає їх індексу подрібнення (М10). Запропоновано рівняння для оцінки кількості пилоподібної фракції коксу (≤ 1 мм).

11. За даними розрахунку нормативного мінералогічного складу доменних шлаків ДП № 9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», температури гетерогенізації шлакових розплавів () з урахуванням їх засміченості вуглецевими матеріалами, підтверджена визначальна роль впливу фазового складу розплавів доменних шлаків на їх технологічні властивості. Встановлено граничний вміст мінералу ларніту (Ca2SiO4 = 16%), що забезпечує оптимальні технологічні властивості шлакового розплаву, в'язкість при 1500°С ≈ 0,3 Па∙с, ентальпію ≈ 1840 кДж/моль, сіркопоглинальну здатність ≈ 18 од (Патент України на винахід № 98066 від 10.04.2012г.).

12. В результаті комплексного аналізу шлакового режиму ДП № 9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» з використанням розроблених критеріїв, моделей і методики оцінки впливу гетерогенності розплавів доменних шлаків на їх технологічні властивості визначені діапазони граничних значень критеріїв стабілізації шлакового режиму ( = (-2,35) - (-2,28) і  = 0,707-0,713) в автоматизованій системі «Шлак», що забезпечують в'язкість шлаків ≈ 0,3 Па∙с, ентальпію 1830-1840 кДж/моль, сіркопоглинальну здатність 14-18 од. і встановлені раціональні співвідношення CaO/SiO2 = 1,12-1,2 та Al2O3/MgO = 1,14-1,3, що в цілому сприяє збільшенню кількості випусків чавуну необхідної якості і зниженню енергетичних витрат на його виплавку в сформованих сировинних і технологічних умовах роботи доменної печі.

**Наукова новизна результатів роботи:**

1. Вперше запропоновано комплексний підхід до оцінки фазового складу розплавів доменних шлаків, заснований на визначенні енергії активації в'язкого плину шлакових розплавів (), їх температури ліквідус (), об'ємної частки кристалічної фази (), а також максимальної лінійної швидкості кристалізації () і температури, при якої вона досягається ().

2. На основі розрахунку нормативного мінералогічного складу доменних шлаків ДП № 9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за даними їх хімічного складу вперше встановлено гранично допустимий вміст у шлаку мінералу ларніту (Ca2SiO4), який не повинен перевищувати 16%, що забезпечує оптимальні фізико-хімічні властивості шлакових розплавів (Патент України на винахід № 98066 від 10.04.2012г.).

3. На основі температурної залежності в'язкості та електропровідності розплавів доменних шлаків вперше розроблено критерій оцінки їх гетерогенізації (), що характеризує температуру шлакового розплаву при якій реалізується його потенційна сіркопоглинальна здатність з мінімальними енергетичними витратами (заявка на винахід № а 201301986 від 18.02.2013р.).

4. Для розплавів доменних шлаків заводів України встановлено зв'язок електропровідності з показником стехіометрії шлаків (), з урахуванням температури їх розплавів та запропонована прогнозна модель.

5. Вперше з позицій мінералогічного складу за даними діаграми стану системи геленіт (2CaO·Al2O3·SiO2) - окерманіт (2CaO·MgO·2SiO2) обґрунтовано доцільність врахування відношення Al2O3/MgO в хімічному складі шлаків при виборі їх основності (CaO/SiO2) за встановленою залежністю, що забезпечує кондиційність чавуну і оптимізацію енергетичних витрат його виплавки в конкретних сировинних і технологічних умовах.

6. З використанням інтегральних параметрів міжатомної взаємодії ( і ) для розплавів доменних шлаків, що містять різні вуглецеві матеріали, розроблено нові критерії оцінки зміни (градієнти) в'язкості (Δη), температури кристалізації (ΔТл) і затвердіння (ΔТс).

**Практичне значення одержаних результатів роботи:**

1. Для реалізації потенційної сіркопоглинальної здатності розплавів доменних шлаків і оптимізації енергетичних витрат виплавки чавуну необхідної якості, рекомендовано вибір основності шлаків (CaO/SiO2) за встановленими залежностям  = *f* (CaO/SiO2) і CaO/SiO2 = *f* (Al2O3/MgO).

2. Запропоновано спосіб ведення доменної плавки (Патент України на винахід № 98066 від 10.04.2012 р.), який базується на розрахунку нормативного мінералогічного складу доменних шлаків за даними їх хімічного складу і визначення в ньому відсотковогоо вмісту мінералу ларніту (Ca2SiO4), яке не повинно перевищувати 16 %, що забезпечує в'язкість шлаку ≈ 0,3 Па∙с, ентальпію ≈ 1840 кДж/моль, сіркопоглинальну здатність ≈ 18 од.

3. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення розрахунку нормативного мінералогічного складу доменних шлаків і оцінки фазового складу їх розплавів (,,,,) з урахуванням хімічного складу шлаків і температури. Наявність цих програмних засобів дозволяє виконати аналіз поведінки шлакового розплаву в широкому температурному діапазоні в процесі його охолодження і кристалізації з метою вибору раціонального шлакового режиму доменної плавки, що забезпечує виплавку чавуну необхідної якості і зниження енергетичних витрат у конкретних сировинних і технологічних умовах. Програмні модулі включено до складу автоматизованої системи «Шлак», яка функціонує в умовах АСУТП доменних печей №2 ВАТ «Запоріжсталь», №8 і №9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для контролю і стабілізації шлакового режиму, що підтверджено відповідними актами про використання результатів роботи у виробництві.

4. Запропоновано для практичного використання рівняння оцінки кількості пилоподібної фракції коксу (≤ 1мм) за значенням показника його механічної міцності (М10), з використанням якого і урахуванням значень критеріїв оцінки зміни в'язкості (Δη), температур ліквідус (ΔТл) і солідус (ΔТс) оцінюється ступінь впливу пилоподібної фракції коксу у складі розплавів доменних шлаків на їх технологічні властивості.

5. З використанням розроблених критеріїв і методики оцінки гетерогенності розплавів доменних шлаків для умов ДП № 9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» розроблено рекомендації щодо оптимізації шлакового режиму - уточнені діапазони граничних значень критеріїв стабілізації шлакового режиму (=(-2,35)-(-2,28) і =0,707-0,713) автоматизованої системи «Шлак», що забезпечують в'язкість шлаків ≈ 0,3 Па∙с, ентальпію 1830-1840 кДж / моль, сірко поглинальну здатність 14-18 од. і встановлені раціональні співвідношення CaO/SiO2 = 1,12-1,2 та Al2O3/MgO = 1,14-1,3, що в цілому сприяє збільшенню кількості випусків чавуну необхідної якості і зниженню енергетичних витрат у сформованих сировинних і технологічних умовах роботи доменної печі.

Підтвердженням ефективності роботи розроблених критеріїв та методики оцінки фазового складу шлакових розплавів для вибору раціонального шлакового режиму доменної плавки є їх реалізація у складі автоматизованої системи контролю і управління шлаковим режимом доменної плавки «Шлак», яка впроваджена в умовах АСУТП доменних печей № 2 ВАТ «Запоріжсталь» та № 8 і №9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий ріг», що підтверджено відповідними актами використання наукових розробок.

Оцінка економічної ефективності використання розроблених у роботі критеріїв та методики оцінки фазового складу шлакових розплавів для вибору раціонального шлакового режиму доменної плавки виконана відповідно до «Методики визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження й розробки та їх впровадження у виробництво», затвердженої Наказом Міністерства економіки й Міністерства фінансів України № 218/446 від 25.09.2001 р. (далі Методика). Згідно з Методикою визнаними в світовій практиці основними показниками, що акумулюють вигоди від впровадження науково-технічних розробок та використовуються для оцінювання економічної ефективності проектів, є: чистий дисконтований дохід або прибуток (ЧДД); індекс дохідності (ІД) і період окупності інвестицій у реалізацію проектів (Т).

Вихідні дані для оцінки економічної ефективності впровадження розробок наукової роботи прийняті із заводських джерел інформації роботи доменної печі №9 ПАТ «АрселорМіттал Кривий ріг» в середньому за період 2011–2012 рр.

Чистий дисконтований дохід (ЧДП) від впровадження розроблених критеріїв та методики оцінки фазового складу шлакових розплавів в складі автоматизованої системи контролю і управління шлаковим режимом доменної плавки «Шлак» з урахуванням постійної її роботи в умовах АСУТП доменної печі, складає:

,

де 1100 – ціна коксу, грн./т, 300700 – об’єм виробництва чавуну, т/рік, 450 – питомі витрати коксу до впровадження розробок, кг/т чавуну, 448 – питомі витрати коксу у період впровадження розробок, кг/т чавуну, 200000 – сума інвестицій на виконання роботи, грн., 0,2 – норма дисконтування.

Коефіцієнт чистого дисконтованного доходу (індекс дохідності) від впровадження у виробництво розробок складає:

 ,

де ДВІ – дисконтована вартість інвестицій (вартість капітальних і одноразових витрат) в реалізацію розробок роботи.

Період окупності інвестицій в реалізацію розробок роботи складає:

.

Тобто, відшкодування первісно започаткованих інвестиційних коштів на основі накопичених чистих реальних грошових потоків, зумовлених реалізацією результатів роботи здійсниться протягом 0,833·12≈10 місяців.

Розроблені критерії та методика оцінки фазового складу шлакових розплавів для вибору раціонального шлакового режиму доменної плавки реалізовані в складі автоматизованої системи контролю і управління шлаковим режимом доменної плавки «Шлак», яка може функціонувати в складі АСУТП доменних печей металургійних заводів України, а також близького та далекого зарубіжжя.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення і результати наукової роботи, яка висувається на здобуття щорічної премії Президента України, докладені на 8 науково-технічних конференціях, зокрема: Міжнародній конференції «15. Internationaler Studententag der Metallurgie» (м.Фрайберг, Німеччина 13.-15.03.2008), Міжнародній конференції «Проблеми математичного моделювання» (м. Дніпродзержинськ, 2009р., 2010р.). Міжнародній конференції «Строение и свойства металлургических и шлаковых расплавов» (м. Екатеринбург, РФ 2008р., 2011р.), ), Всеукраїнській конференції «Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні» (м.Дніпропетровськ, 2010 р., 2011 р.), Міжнародній науковій конференції «Физико-химические основы металлургических процессов» посвященной 110-летию со дня рождения академика А. М. Самарина (м. Москва, РФ, 28-29 листопада 2012 р.).

**Публікації.** Загальна кількість публікацій в яких відображена робота складає 24 публікації, що включає дисертацію й автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, у тому числі 1 монографія, 16 публікацій в наукових журналах, 4 тез доповідей, 1 патент України на винахід.

Науковий співробітник

ІЧМ НАН України, к.т.н. Д. О. Степаненко

Перелік публікацій

за темою роботи кандидата технічних наук, наукового співробітника Інституту чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України Степаненка Дмитра Олександровича «Оптимізація шлакового режиму доменної плавки на основі розроблених нових критеріїв та методик в сучасних сировинних умовах роботи доменних печей України»

1. Прогнозирование физико-химических свойств оксидных систем / Приходько Э.В., Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Степаненко Д.А. – Днепропетровск.: Пороги, 2013. – 344с.
2. Оценка гетерогенизации шлаковых расплавов при выборе рационального шлакового режима доменной плавки / Д. А. Степаненко, Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько// Сталь – 2013. – № 2 – С. 14 – 18.
3. Стабилизация шлакового режима доменной плавки в условиях ОАО «Запорожсталь» / Н. В. Крутас, А. В. Казьмин, М. Е. Шарапов [и др.] // Сталь – 2008. – № 10 – С. 14 – 19.
4. Изучение микрогетерогенности расплавов доменных шлаков на основе исследования их фазового состава / Степаненко Д.А., Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Баумер В. Н. // Металл и литье Украины. – 2012. – №1(224). – С. 35-38.
5. Влияние микро- и макрогетерогенности на свойства доменных шлаков / Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько, Д. А. Степаненко [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 5. – С. 12–15.
6. Тогобицкая Д. Н. Аналитическая оценка свойств доменных шлаков, обеспечивающих устойчивую работу печи в нестационарных условиях / Д. Н. Тогобицкая, Н М. Можаренко, А. И. Белькова, Д. А. Степаненко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2010. – № 4. – С. 13–17.
7. Комп’ютерна система для дослідження впливу мікрогетерогенності на властивості металургійних шлаків / Д. О. Степаненко, Д. М. Тогобицька, А. Ф. Хамхотько, Т. О. Калашнікова // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ. – 2010. - № 1(22 ) – С. 69-73.
8. Степаненко Д. А. Роль вязкости шлаков в процессах взаимодействия в системе металл-шлак-газ / Д. А. Степаненко // Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – Днепропетровск. – 2010. – вып. 21. – С. 247-255.
9. Влияние минералогического состава доменных шлаков на их технологические свойства / Д.А. Степаненко, Д.Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Т.А. Калашникова // Новини науки Придніпров’я. Науково-практичний журнал, серія: інженерні дисципліни. – 2010. – с. 46-50.
10. Степаненко Д. А., Оценка влияния коксовой мелочи на технологические свойства доменных шлаков / Д. А. Степаненко, А. Ф. Хамхотько, А. Д. Джигота // Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». –Днепропетровск. – 2011. – вып. 23. – С. 108-116.
11. Информационно-аналитическая система оценки минералогического состава доменных шлаков и его связь с технологическими свойствами / Д. А. Степаненко, Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько, Т. А. Калашникова // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ. – 2011. – Вип. 2(73). – С. 140–146.
12. Інформаційно-аналітична система для дослідження кристалізаційної здатності металургійних шлаків / Д. М. Тогобицька, Д. О. Степаненко, А. Ф. Хамхотько, Ю. М. Ліхачов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. - Дніпропетровськ. – 2010. – Вип. 2 (67). – С. 74-80.
13. Использование базы вискозиметрических данных для расчета кристаллизационной способности металлургических шлаков / Д. Н. Тогобицкая, А.Ф. Хамхотько, Ю.М. Лихачев, Д. А. Степаненко // Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». –Днепропетровск. – 2008. – вып. 18. – С. 200-209.
14. Опыт создания и внедрения системы контроля и управления шлаковым режимом доменной плавки в шихтовых и технологических условиях заводов Украины / Д. Н, Тогобицкая, А. И. Белькова, А. Ф. Хамхотько, Д. А. Степаненко [и др.] // Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – Днепропетровск. – 2009. – Вып. 19. – С. 100–112.
15. Тогобицкая Д. Н. Оценка кристаллизационной способности и минералогического состава конечных доменных шлаков в сырьевых и технологических условиях доменных печей заводов Украины / Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько, Д. А. Степаненко // Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – Днепропетровск. – 2009. – Вып. 20. – С. 54–60.
16. Тогобицкая Д. Н. Связь вязкости и температуры кристаллизации доменных шлаков с их минералогическим составом / Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько, Д.А.Степаненко // Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». – Днепропетровск. – 2010. – вып. 21. – С. 108-116.
17. Системный подход к решению задач выбора оптимального состава доменной шихты / Д. Н. Тогобицкая, А. И. Белькова, А. Ф. Хамхотько, Д. А. Степаненко [и др.] // Наукові вісті. Сучасні проблеми металургії. – Дніпропетровськ: НметАУ. – 2010. – №13. – С. 14–20.
18. Оценка термодинамического состояния системы «чугун-шлак» для направленного формирования качества продуктов доменной плавки / Д. Н. Тогобицкая, А. И. Белькова, Д. А. Степаненко, А. Ю. Гринько // Труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». – Екатеринбург. – 2011. – Т.4. – С. 86–89.
19. Степаненко Д. А. Свойства шлаковых расплавов - следствие их состава и структуры / Д. А. Степаненко, Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько // Труды XIII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». – Екатеринбург. – 2011. – Т.4. – С. 34–37.
20. Togobitykaja D.N., Prihod׳ko E.V., Grin׳ko A.J., Stepanenko D.A. Die Physikalisch-Chemischen Grundlagen der Stabilisierung des Schlackenregimes der Hochofenschmelze //15. Internationaler Studententag der Metallurgie. – Freiberg 13.-15.03.2008. Seite 53-56.
21. Степаненко Д. А. Оценка температуры гетерогенизации шлаковых расплавов / Д. А. Степаненко, Д. Н. Тогобицкая, А. Ф. Хамхотько // Сборник трудов междунородной научной конференции «Физико-химические основы металлургических процессов» к 110-летию со дня рождения академика А. М. Самарина. – Москва. – 2012. – С. 99.
22. Пат. 98066 України, МПК (2012, 01) С 12В 5/60. Спосіб ведення доменної плавки / Степаненко Д. О., Тогобицька Д. М., Хамхотько А. Ф., Дніпропетровськ, Інститут чорної металургії НАН України. - № а 201103324; заявка від 21.03.2011; опубл. 10.04.2012, Бюл. №7.

Науковий співробітник

ІЧМ НАН України, к.т.н. Д. О. Степаненко

Вчений секретар

ІЧМ НАН України, к.т.н. О. Є. Меркулов