

## ВІДГУК

### офіційного опонента на дисертаційну роботу

#### *Чернявської Тетяни Василівни*

«Метод підвищення ресурсу роботи устаткування річкового та морського транспорту за рахунок використання модифікованих захисних антикорозійних покриттів», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології

Кваліфікаційна наукова праця Чернявської Т.В., що представлена на захист, надрукована українською мовою і складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 134 та додатків. Загальний обсяг дисертації – 180 сторінок, з яких 147 сторінок основного тексту, рисунків – 29, таблиць – 26, список використаних джерел розміщено на 15 сторінках, додатки – на 3 сторінках.

**Актуальність роботи.** Морський та річковий транспорт є головним способом перевезення багатотоннажних вантажів, при цьому географія таких перевезень лежить навколо світу, зокрема від екватору до полюсів. У зв'язку з цим корпуса, механізми та устаткування суден піддаються не лише механічним навантаженням, але й суттєвим кліматичним навантаженням – критичним перепадам температур, вологи тощо. Ці навантаження є статичним та динамічними, що пришвидшує корозію та старіння усіх деталей. Вирішенням цієї важливої проблеми є використання різноманітних захисних покриттів. У зв'язку з економічною та технологічною причинами найбільш розповсюдженими з них є покриття на основі епоксидних полімерів. Для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик ці полімери модифікують з використанням різноманітних добавок – органічних та неорганічних наповнювачів, пластифікаторів і т.д., отримуючи при цьому полімерні композити. Однак існуючі на сьогодні захисні покриття на основі епоксикомпозитних композитів мають певні недоліки. З огляду на те, що такі промислові покриття розроблялися досить давно, а суднобудівна промисловість диктує все більш підвищенні вимоги до їх експлуатаційних характеристик, актуальною задачею є розробка нових захисних покриттів на основі епоксикомпозитних полімерів з використанням новітніх наповнювачів для досягнення виставлених промисловістю вимог. Зокрема, такі захисні покриття мають витримувати одночасно критичні статичні та динамічні механічні та термічні навантаження протягом тривалого часу. Саме на вирішенні цих задач і зосереджена представлена робота, тож її актуальність не викликає сумніву.

#### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Актуальність наукових досліджень, результати яких представлені в роботі, підтверджується кількістю держбюджетних тем, в рамках яких вони виконувалися, зокрема «Створення епоксидних нанокompозитних матеріалів із підвищеними експлуатаційними характеристиками» (№ д.р. 0117U002177), «Закономірності створення антикорозійних і зносостійких полімерних

нанокомпозитів для відновлення засобів водного та наземного військового транспорту» (№ д.р. 0119U103636), «Дослідження і розробка нових матеріалів та технологій для експлуатації та ремонту засобів транспорту» (№ д.р. 0117U000443 22i/17), а також НДР за господоговірною темою «Науково-технічна експертиза захисних полімеркомпозитних корозійностійких покриттів» (№ д.р. 26г/17) з представником вітчизняної суднобудівної промисловості, а саме ТОВ «Судноремонтний завод».

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність.** При виконанні наукових досліджень в рамках представленої роботи автором використано сучасні стандартизовані методи дослідження адгезійної міцності і залишкових напружень, модуля пружності, руйнівних напружень при згинанні, ударної в'язкості, корозійної стійкості епоксидних композитів і захисних покриттів, опору і ємності (RCL-метр типу E7-22), а також ІЧ-спектроскопія (ІЧ-спектрофотометр «IRAffinity-1») та хроматографія (газовий хроматограф GC/MS Agilent Technologies 6890 N, обладнаний капілярною колонкою HP 19091S-433 (HP-5MS)), оптична (металографічний мікроскоп моделі XJL-17AT) та електронна мікроскопія (скануючий електронний мікроскоп ZEISS EVO 40XVP), диференціально-термічний та термогравіметричний аналіз («Thermoscan-2»). Для оптимізації вмісту декількох модифікаторів у композитах автором успішно застосовано математичний апарат. При вимірюваннях та розрахунках використано методи статистичної обробки.

Таким чином, експериментальні результати, наукові положення та висновки, подані в представленій дисертаційній роботі, є достовірними, а їх обґрунтування проведено з необхідною повнотою.

#### **Наукова новизна результатів наукової кваліфікаційної роботи.**

В роботі за рахунок використання декількох модифікаторів та їх оптимізованого вмісту у розроблених захисних покриттях на основі епоксидних полімерів удосконалено метод підвищення ресурсу роботи засобів водного транспорту.

Визначено шляхи підвищення ресурсу і корозійної стійкості устаткування засобів водного транспорту, встановлено та обґрунтовано їх закономірності в залежності від особливостей формування та вмісту захисних покриттів з поліпшеними когезійними властивостями.

Завдяки визначеній в роботі можливості спрямованого керування процесами взаємодії між компонентами епоксидних композитів та їх синергетичного впливу удосконалено процедуру формування захисних покриттів з поліпшеними антикорозійними властивостями устаткування засобів водного транспорту.

#### **Практичне значення наукової кваліфікаційної роботи.**

Головним практичним результатом представленої роботи є розроблений метод підвищення ресурсу роботи суден та складових їх устаткування. Досягнуто цей результат за рахунок використання оптимального вмісту компонентів захисних покриттів на основі епоксидних композитів, зокрема фталіміду, мікродисперсного наповнювача синтезованої високовольтним електророзрядом залізо-карбідної шихти та фітинової кислоти, а також технології їх формування.

На основі отриманих результатів розроблено технологічні рекомендації щодо складу епоксидного композиту, методу формування покриття з

підвищеними у 1,5...1,7 рази фізико-механічними властивостями і у 1,8...2,0 рази корозійною стійкістю, та способу його нанесення, які впроваджені на підприємстві вітчизняної суднобудівної промисловості – ТОВ «Суднобудівний завод» (м. Маріуполь), що підтверджено актом впровадження. Теоретичні результати роботи використані в навчальному процесі Херсонської державної морської академії при підготовці магістрів та аспірантів.

#### **Завершеність роботи, стиль викладу, публікації.**

За результатами представленої дисертаційної роботи опубліковано 11 наукових праць, з них: 4 статті у фахових виданнях, 2 статті у міжнародних виданнях включених до науково метричних баз Scopus та Web of Science, 5 тез доповідей на Міжнародних науково-практичних та науково-технічних конференціях.

Повнота викладених основних результатів дисертаційної роботи у фахових виданнях відповідає встановленим вимогам до даного виду робіт, а анотація дисертації вірно відображає зміст та основні положення дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота написана державною мовою, текстовий матеріал роботи викладено зрозуміло, а поділ на розділи є обґрунтованим і логічним. Тема та зміст дисертації відповідають нормативному змісту та напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми Херсонської державної морської академії зі спеціальності 275 – Транспортні технології.

#### **Аналіз основного змісту кваліфікаційної наукової роботи.**

Дисертаційна робота Чернявської Т.В. складається з анотації українською та англійською мовами, вступу, чотирьох розділів, кожен з яких закінчується висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел (134 найменування) та додатків. Загальний обсяг роботи складає 180 сторінок, з яких 147 сторінок друкованого тексту, містить 29 рисунків та 26 таблиць, що повністю відповідає вимогам до обсягів кваліфікаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, встановлено зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету і завдання досліджень, вказано об'єкт та предмет дослідження, подано експериментальні та теоретичні методи досліджень механічних, теплофізичних та експлуатаційних властивостей, а також структури розроблених епоксидних композитів для формування захисних антикорозійних покриттів на їх основі, визначено наукову новизну і практичне значення роботи. Визначено особистий внесок автора, подано результати апробації і публікації матеріалів за результатами експериментальних досліджень, подано зміст і визначено об'єм роботи.

В **першому розділі** розкрито стан проблеми із захистом корпусів суден та їх устаткування від дії зовнішніх, в тому числі агресивних, факторів навколишнього середовища. Встановлено особливості впливу корозії на конструктивну міцність та термін експлуатації суден, швидкість, витрати палива тощо. Визначено суть терміну «корозія» та детально описано її природу, механізми та класифікацію. Встановлено, що вплив на швидкість зношування конструкції та деталей мають ряд факторів та чинників. Окреслені шляхи запобігання корозійно-механічних руйнувань та описані існуючі способи захисту від корозії, а саме фосфатування, оксидування, пасивування, цинкування, металізація напиленням,

електрохімічний, катодний та протекторний захисти, а також застосування полімерних захисних покриттів. Для останніх визначені умови експлуатації, наведено їх класифікацію та встановлені сфери їх застосування. Серед різноманіття полімерних матеріалів, які використовуються як основа для захисних антикорозійних покриттів, виділено епоксидні та поліуретанові полімери. Деталізовано їх дослідження, переваги та недоліки, способи їх модифікації з формуванням композитів на їх основі та використання як захисних покриттів. За результатами наведених пошукових робіт зроблені висновки та визначена необхідність наукових досліджень, проведених у представленій дисертаційній роботі.

В другому розділі обґрунтовано вибір компонентів, модифікаторів і наповнювачів для епоксидних композитів. Окремо наведено деталізовані характеристики модифікаторів та наповнювачів. Приведені методи дослідження структури та властивостей епоксидних композитів та захисних покриттів на їх основі, зокрема адгезійної міцності та рівня залишкових напружень, руйнівних напружень при згині, ударної в'язкості, термічного коефіцієнту лінійного розширення, теплостійкості та термостійкості, ІЧ-спектроскопії, оптичної та електронної мікроскопії, а також корозійної тривкості.

В третьому розділі приведено опис експериментальних досліджень молекулярної маси модифікатора – фталіміду. Встановлено, що молекулярна маса фталіміду дорівнює 147,03 та несуттєво відрізняється від молекулярної маси як епоксидного олігомеру так і твердника – ПЕПА. Проведено дослідження адгезійної міцності і залишкових напружень у полімерних композитах з вмістом наповнювача від 0 до 2,00 мас.ч. Показано, що адгезій на міцність композитів за незначного вмісту наповнювача (0,25...0,50 мас.ч.) стрімко зростає від  $\sigma_a = 24,8$  МПа до  $\sigma_a = 32,2...38,2$  МПа та надалі монотонно підвищується, досягаючи свого максимуму  $\sigma_a = 47,7$  МПа при вмісті наповнювача 2,00 мас.ч. Залишкові напруження мають обернену залежність – стрімке спадання за вмісту наповнювача 0,25...0,50 мас.ч. від  $\sigma_z = 1,4$  МПа до  $\sigma_z = 1,1...1,2$  МПа та надалі їх рівень залишається майже незмінним. Покращення властивостей модифікованої матриці порівняно з вихідною зумовлено наявністю у фталіміді амідних (C(=O)NH-) груп, які, ймовірно, взаємодіють з гідроксильними, епоксидними, карбонільними і карбоксильними групами епоксидного олігомеру. Також визначено, що введення наповнювача в межах 0,25...0,50 мас.ч. приводить до зменшення модуля пружності з  $E = 2,8$  ГПа до  $E = 2,0...2,2$  ГПа, а відтак підвищення пластичності епоксидних композитів, та зростання значень руйнівних напружень при згинанні від  $\sigma_{32} = 48,0$  МПа до  $\sigma_{32} = 62,1...62,8$  МПа. Вище концентрації наповнювача 0,50 мас.ч. спостерігається певний спад цих характеристик. Схожа тенденція спостерігалась і для динамічних навантажень. Показано, що максимум значень ударної в'язкості  $W = 14,7$  кДж/м<sup>2</sup> припадає на концентрацію наповнювача 0,25 мас.ч. у порівнянні з вихідної епоксидною матрицею  $W = 7,4$  кДж/м<sup>2</sup>. Таким чином показано, що оптимальним вмістом наповнювача – фталіміду у епоксидному композиті є 0,25 мас.ч.

Підтвердженням останнього твердження є результати досліджень тепло- та термостійкості створених епоксидних композитів. Показано, що введення

0,25...0,50 мас.ч. наповнювача приводить до зростання теплостійкості від  $T = 341$  К для вихідного полімеру до  $T = 354...356$  К, температури склування від  $T_c = 327$  К до  $T_c = 329...331$  К, температури початку термоокислювальної деструкції від  $T_0 = 600,1$  К до  $T_0 = 622,6$  К, термостійкості від  $T_{max} = 518$  К до  $T_{max} = 525,6 ... 526,9$  К, зменшення значень температурного коефіцієнту лінійного розширення від  $\alpha = 6,3 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  до  $\alpha = (2,4...2,7) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  в температурному діапазоні  $\Delta T = 303...323$  К, від  $\alpha = 6,8 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  до  $\alpha = (2,8...2,9) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  при  $\Delta T = 303...373$  К та від  $\alpha = 9,9 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  до  $\alpha = (4,4...4,8) \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  при  $\Delta T = 303...423$  К. За отриманими результатами розраховані енергії активації термоокислювальної деструкції композитів. Виявлено, що для таких композитів спостерігається суттєве зростання значень енергії від  $E = 133,5 \pm 0,2$  кДж/моль для епоксидної матриці до  $E = 169,8 \pm 0,2$  кДж/моль для композитів з 0,25 мас.ч. фталіміду.

Пояснення виявлених закономірностей з точки зору структури епоксидних композитів проводили за результатами їх ІЧ-спектрального аналізу. Виявлено низку структурних змін у композитів з 0,25 мас.ч. наповнювача у порівнянні з вихідною матрицею, а саме зміщення смуг поглинання при  $\nu = 582 \text{ cm}^{-1}$ ,  $\nu = 736...763 \text{ cm}^{-1}$ , розщеплення максимумів при  $\nu = 648 \text{ cm}^{-1}$  та збільшення інтенсивності максимумів при  $\nu = 840...1612 \text{ cm}^{-1}$  і  $\nu = 1886...3441 \text{ cm}^{-1}$ . Аналіз змін у смугах поглинання відносно хімічних зв'язків дозволив стверджувати, що в процесі полімеризації відбувається хімічна взаємодія епоксидного олігомеру з наповнювачем за рахунок приєднання і зшивання макроланцюгів епоксидного олігомеру молекулами фталіміду (безпосередньо функціональних аміногруп модифікатора з активними центрами твердника ПЕПА та епоксидного олігомери), що і пояснює покращення усіх вище досліджених властивостей.

**Четвертий** розділ присвячений вивченню впливу мікродисперсного наповнювача - синтезованої високовольтним електричним розрядом залізокарбідної шихти, а також фітинової кислоти на структуру та фізико-механічні властивості епоксидних композитів і покриттів на їх основі. За аналогією до попереднього розділу проведено дослідження ряду властивостей, важливих з точки зору використання створених епоксидних композитів як захисних покриттів. Відтак показано, що найкращими властивостями володіють композити з вмістом шихти 0,50 мас.ч. Встановлено, що для них характерним є зростання адгезійної міцності від  $\sigma_a = 24,8$  МПа для епоксидної матриці до  $\sigma_a = 44,7$  МПа, зменшення залишкових напружень від  $\sigma_s = 1,4$  МПа до  $\sigma_s = 0,7$  МПа, збільшення значень руйнівних напружень від  $\sigma_{sz} = 48,0$  МПа до  $\sigma_{sz} = 67,2...84,9$  МПа, ударної в'язкості від  $W = 7,4$  кДж/м<sup>2</sup> до  $W = 13,0$  кДж/м<sup>2</sup>, теплостійкості від  $T = 341$  К до  $T = 364$  К, зменшення величини температурного коефіцієнту лінійного розширення від  $\alpha = 9,9 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  до  $\alpha = 4,0 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$  загалом для температурного діапазону  $\Delta T = 303...423$  К, при цьому модуль пружності залишається майже незмінним в межах  $E = 2,6...2,8$  ГПа. Проведено аналіз та визначено зв'язок між змінами у властивостях композитів та змінами у їх структурі. Методом ІЧ-спектроскопії виявлено відсутність смуг поглинання при  $918,12 \text{ cm}^{-1}$ ,  $1126,43 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2542,18 \text{ cm}^{-1}$  та  $3417,86 \text{ cm}^{-1}$ , які відповідають деформаційним коливанням С-О-Н, -ОН- валентним коливанням та -СН- валентним коливанням відповідно, зниження інтенсивності смуг поглинання при  $1454,33 \text{ cm}^{-1}$ ,  $810,10 \text{ cm}^{-1}$  та  $840,96$

см<sup>-1</sup>, та зміщення максимумів інтенсивності поглинання при 1049,28 см<sup>-1</sup> до 1037,70 см<sup>-1</sup> та при 2873,94 см<sup>-1</sup> до 2870,08 см<sup>-1</sup>. Проаналізовано та встановлено, що групи СН<sub>2</sub> утворюють частину основної сітки епоксидного композиту, а карбонільна група є частиною складноефірного зв'язку, яка з'єднує активні центри наповнювача з основним ланцюгом макромолекули епоксидного полімеру. Додатково у роботі проводили аналіз фрактограм зламу композитів. Запропоновано, що поява ділянок з неоднорідною структурою у композитах з вмістом наповнювача 0,5 мас.ч. зумовлена активацією процесів міжфазової взаємодії у присутності часток наповнювача, що передбачає посилення впливу ендотермічних процесів у результаті формування хімічних зв'язків при зшиванні матеріалів. В той же час наявність ступінчастих великих ліній сколювання та габаритних ділянок на поверхні композитів з вмістом наповнювача більше 1,0 мас. ч. зумовлена формуванням мікрообластей, які обумовлені агрегацією та недостатнім змочування часток наповнювача.

В роботі також проведено дослідження впливу іншого наповнювача – фітинової кислоти на структуру та властивості епоксидних композитів. Експериментально встановлено, що введення цього типу наповнювача приводить до збільшення адгезійної міцності від  $\sigma_a = 24,8$  МПа для епоксидної матриці до  $\sigma_a = 31,5$  МПа при його незначному вмісту 0,25 мас.ч., значень руйнівних напружень при згинанні від  $\sigma_{ze} = 48,0$  МПа до  $\sigma_{ze} = 80,3$  МПа, ударної в'язкості від  $W = 7,4$  кДж/м<sup>2</sup> до  $W = 10,9$  кДж/м<sup>2</sup> та теплостійкості від  $T = 341$  К до  $T = 350...352$  К. Відбувається це за рахунок активної міжфазової взаємодії між групами фітинової кислоти і гідроксильними групами епоксидної смоли.

Без перебільшень важливою частиною представленої роботи є розробка математичної моделі для визначення оптимальних вмістів усіх компонентів у композитах для досягнення синергетичного ефекту при формуванні захисних покриттів. З використанням досить складного математичного апарату встановлено, що за показниками ударної в'язкості оптимальним є вміст фталіміду – 0,25 мас.ч. та синтезованої залізо-карбідна шихти – 0,20...0,50 мас.ч.

Проведено перевірку корозійної стійкості розроблених матеріалів у порівнянні з відомими аналогами – промисловими захисними покриттями Jotacote Universal N10 QD (Jotun, Норвегія) та Intershield 300 (International, Великобританія) в середовищах нафти, бензину, морської та річкової води. Показано, що набухання у агресивних середовищах зразків з розробленого композитного матеріалу становить 1,6...1,8 %, що у 1,4...1,6 разів менше порівняно з відомими і широко поширеними покриттями у світовому флоті.

Розроблено технології виготовлення захисного антикорозійного покриття з розроблених епоксидних композитів та його нанесення. Технології впроваджено на ТОВ «Судноремонтний завод» (м. Маріуполь), що в подальшому дозволить провести імпортозаміщення відомих закордонних та дороговарісних аналогів, що, у свою чергу, зможе забезпечити отримання значного економічного ефекту. Це твердження доведено при розрахунках витрат на рейс та економічного ефекти від використання розробленого в роботі захисного покриття на реальному прикладі суховантажу «JOSCO TAIZHOU» на переході порт Річардс Бей (Richards Bay), Південно-Африканська Республіка – порт Вішакхапатнам (Visakhapatnam), Індія з

вантажем 54482 т вугілля навалом. Показано, що витрати на догляд за корпусом та устаткуванням за рейс для цього судна зменшуються у 1,5 разів за рахунок використання розробленого полімерного антикорозійного покриття.

#### **Зауваження до кваліфікаційної наукової роботи.**

1. Текстовий матеріал представленої роботи містить ряд не до кінця зрозумілих термінів та словосполучень, зокрема «ступень гелеутворення», «процеси збільшення ресурсу», «наявність оптимізації вмісту», «нові закономірності», «гомеопатичний вміст» тощо.
2. В деяких місцях основного тексту роботи переплутано порядок посилань, зокрема посилання на джерело [15] передує посиланню [13], посилання [20] передує посиланню [19], посилання [45-56] передують посиланням [42-44].
3. Текст на стор. 61 Розділу 3 варто було б перенести у Розділ 2, оскільки в ньому описана методика проведення експерименту.
4. На рис. 3.10 та у тексті на стор. 76, 77 температура або помилково представлена у градусах Кельвіна, або не перерахована у них.
5. На рис. 3.12 для порівняння логічно було б навести ІЧ-спектри ПЕПА, що дало б можливість зробити більш стверджувальні висновки.
6. У п.п. 4.5 (стор. 130) для детального аналізу бажано було б навести результати відповідних досліджень до витримки матеріалів у агресивних середовищах.
7. У пункті 4.7 недостатньо повно описано економічний ефект від подовження строку експлуатації та ресурсу корабельних конструкцій за рахунок розробленого здобувачем захисних покриттів. З огляду на вартісні заходи SEEMP (п. 2, табл. 4.16), на мою думку, це б підсилило загальне позитивне враження від роботи.

**Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.** На підставі вивчення тексту дисертації здобувача та його наукових праць встановлено, що дисертаційне дослідження виконано самостійно, текст роботи не містить плагіату, а дисертація відповідає вимогам академічної доброчесності відповідно до Статті 42 «Академічна доброчесність» Закону України «Про освіту» (від 5 вересня 2017 р.).

**Загальний висновок.** Зазначені зауваження ніякою мірою не знижують значущість представленої наукової кваліфікаційної праці.

Дисертаційна робота Чернявської Тетяни Василівни «Метод підвищення ресурсу роботи устаткування річкового та морського транспорту за рахунок використання модифікованих захисних антикорозійних покриттів» є завершеною науковою працею в галузі транспортних технологій, що стосується розробки нових захисних антикорозійних покриттів на основі епоксидних композитів, які мають працювати в агресивних середовищах під дією не лише статичних, але й динамічних механічних та термічних навантажень. В роботі вирішено науково-технічну задачу з визначення оптимальних вмістів компонентів полімерних композитів на основі епоксидної матриці, розроблено технології їх виготовлення та нанесення як захисних покриттів, ефективність яких також доведена. Результати дисертації достатньо апробовані та впроваджені. Анотація дисертації вірно відображає її основні положення.

Отже, вважаю, що за актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, обґрунтованістю наукових результатів, обсягом проведених експериментальних досліджень дисертаційна робота Чернявської Тетяни Василівни «Метод підвищення ресурсу роботи устаткування річкового та морського транспорту за рахунок використання модифікованих захисних антикорозійних покриттів» відповідає нормативному змісту та напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми Херсонської державної морської академії зі спеціальності 275– Транспортні технології та вимогам пп. 9, 10, 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167), а її автор, Чернявська Тетяна Василівна, заслуговує на присвоєння наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 275 – Транспортні технології.

**Офіційний опонент:**

доктор технічних наук (спеціальність 05.03.06 – Зварювання та споріднені процеси і технології), старший дослідник, Лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, завідувач відділу №80 «Зварювання пластмас» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона Національної академії наук України



М.В.ЮРЖЕНКО

Підпис д-р. техн. наук, старш. дослідн. Юрженка М.В. засвідчую:  
Учений секретар Інституту електрозварювання ім.  
Є.О. Патона Національної академії наук України



І.М. Ключков