

**До спеціалізованої вченої ради
Д 08.084.05 при Національній
металургійній академії України**

ВІДГУК

офіційного опонента професора, доктора технічних наук Медовара Лева Борисовича на докторську дисертацію Тімошенка Сергія Миколайовича «Розвиток наукових основ підвищення енергоефективності дугових сталеплавильних печей, що представлено до захисту за спеціальністю 05.14.06 – «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика»

Дисертація присвячена дослідженню однієї із традиційних, але й вельми актуальних проблем сучасного металургійного машинобудування й чорної металургії - а саме підвищенню енергоефективності дугових сталеплавильних печей (ДСП) й науковому обґрунтуванню низки принципових технічних рішень при конструюванні сучасних ДСП.

Дисертаційна робота складається зі вступу, восьми розділів основного тексту, висновків, переліку використаних джерел (292 посилання на 28 сторінках, в тому числі наукові публікації автора за темою дисертаційної роботи), дев'яти додатків. Повний обсяг роботи складає 325 сторінок машинописного тексту, в тому числі текст дисертації викладено на 263 сторінках; розділи включають 136 рисунків і 54 таблиці.

Вважаю необхідним зазначити, що ця робота є прикладом цілеспрямованого кропіткого теоретичного й експериментального дослідження відомого процесу й обладнання для його реалізації з досягненням в результаті роботи найкращого рівня, відомого в світі в галузі конструювання й промислового використання дугових сталеплавильних печей як змінного, так й постійного струму. З огляду на те, що в Україні дугові сталеплавильні печі до останнього часу не конструювали й не будували в країні до останнього часу не було традицій й наукових колективів які б займались вивченням складних процесів саме теплової роботи ДСП. Більш того, парк ДСП був обмеженим

електрометалургійним заводом «Дніпрспецсталь» зі старими печами та ливарними цехами з відносно малими ДСП. Думаю, що тільки з появою в кінці минулого століття першої сучасної так званої надпотужної ДСП на «ІСТІЛ» в Донецьку металурги й теплотехніки країни отримали можливість реального вивчення особливостей тепло- й масообміну в порівнянні зі старими ДСП. Не можу не зауважити також, що в Росії часів СРСР електрометалургійне виробництво, а також конструювання и будування ДСП було на пристойному рівні. Більш того, в Москві майже до кінця минулого століття працював спеціалізований потужний НДІ – ВНДІЕТО, розробки фахівців котрого дозволяли російській електрометалургії бути колись досить успішною. Варто згадати й те, що вже 21 рік в Росії виходить щомісячний науково-технічний журнал «Електрометалургія». До речі, деякі з основних публікацій по темі дисертації було С.М. Тимошенко опубліковано саме в цьому журналі, що 100% перекладається англійською й входить до науково-метричної бази Scopus.

Але справа ще й в тому, що для України розвиток електрометалургійного виробництва сталі є магістральним шляхом давно назрілого оновлення чорної металургії. Україна є й буде металургійною державою саме тому, що чорна металургія була, є й залишиться на перспективу щонайменше 50-70 років локомотивом економіки бо є основою виробництва основного конструкційного матеріалу людства – сталі. Тобто, актуальність того, що робить НКМЗ, опановуючи виробництво сучасних ДСП надзвичайна. А дослідження й результати, що їх здобув автор дисертації покладено в розробку конструкції ДСП, що їх продукує, а також й використовує в своєму виробництві НКМЗ. А це головне, що відзначає відмінну наукову й практичну цінність цієї непересічної дисертації.

Й останнє, що дозволяє підкреслити притаманні роботі С.М. Тімошенко актуальність й відповідність сучасним потребам електрометалургії. Останню докторську дисертацію близької тематики під назвою «Створення й впровадження енергоефективних дугових й шлакових електропічних комплексів з використанням постійного струму й струму низької частоти» було захищено в Росії в 2015 році колишнім співробітником ВНІЕТО С.М. Нехаміним.

Нажаль, автор не знайшов місця для хоча б короткого згадування цієї роботи.

А це варто було зробити, бо фахівцям добре відомо, що практичні рекомендації докторської дисертації С.М. Нехаміна не знайшли використання в промисловості.

Таким чином, дисертація С.М. Тимошенка без перебільшення є **першою повноцінною докторською роботою на теренах колишнього СРСР за останні щонайменше 20 років**, в якій проведено послідовне дослідження теплової роботи ДСП при різних конструктивних рішеннях, а результати її стали відомі в Україні (й Росії) завдяки появі нових ДСП, що побудовано з урахуванням його рекомендацій.

Щодо викладення змісту роботи, вважаю, що автору вдалося в дуже стислому й змістовному першому розділі роботи провести не просто перелік того, що є в технічній літературі, а й чітко виділити те, що не можна сприймати на віру, а треба дослідити й перевірити. З огляду на те, що металургійні аспекти роботи ДСП майже не змінюються з підвищеннем потужності трансформаторів, зміни природи струму, автор зрозумів, що його напрям- це глибоке дослідження саме нової теплофізики й, звісно, гідро-й аеромеханіки печей з надпотужними трансформаторами з відношенням потужності в кВА до садки в тонах близько 1 й струмами за 100кА. Підкреслимо також, що С.М. Тимошенко має освіту металурга й його кандидатська дисертація була суто металургійною й спрямована була на дослідження особливостей продувки розплаву формами. З однієї сторони це важливо, що згідно з сучасними вимогами в докторській роботі немає прямих перехресть з попередніми дослідженнями кандидатської дисертації. З іншої сторони, цей факт дає можливість зрозуміти, що задачі гідро-й аеромеханіки в металургії добре відомі авторові.

Менш вдалим видається другий розділ, в якому зведена не тільки методика досліджень, що для докторської дисертації мабуть є зайвим, а включено ще й постановки й формулювання задач для вирішення. Більше того, формулювання задач, щодо теплової роботи ДСП подано дуже стисло, як методика. В той же

час, видається, що було б доцільним розглянути більш детально ці аспекти. Бо такий стислий виклад залишає без відповіді очевидні питання. Наприклад, на стор. 78 при формулюванні задачі щодо оптимізації діаметру розпаду електродів стверджується з посиланням на підручник, що розрахунки для діаметру розпаду електродів для ДСП подібні до результатів для руднотермічних печей. Вочевидь, таке твердження потребує щонайменше фізичного тлумачення.

Найцікавішими розділами дисертації для опонента стали третій й четвертий, що присвячені дослідженню тепло- й масообміну в ДСП й розрахунку водоохолоджуваних елементів ДСП.

Саме в цих двох розділах в конденсованому вигляді надано найцінніші, як на мене, результати дисертації , а саме створена модель ванни ДСП й досліджено її поведінку в залежності від роботи дуг й проаналізовано теплообмін в ДСП при наявності водоохолодження стін й зводу печі. Вважаю, що робота тільки б виграла, якби автор приділив в цих розділах більше уваги деталям теплових розрахунків, а не включав до цих розділів, з часто притаманною дисертантом жадобою, ще й суто металургійні результати стосовно дефосфорації й видаленню вуглецю.

Більш того, викладення матеріалу розділу 3 подано так, ніби критерій енергоефективності ДСП є, якщо використати кальку з англійської, загальним й таким, що не потребує роз'яснень (selfexplanatory). Між тим, з огляду на те, що в аналіз включено ДСП ємністю від 12 тон до 280 тон авторові слід було більш прискіпливо підійти до одного з ключових своїх висновків щодо «глибокої» ванни й знайти відмінності теплової роботи ДСП при різних видах шихти й залежності проплавлення колодязів електродами й їх розпаду саме від цього параметру.

Четвертий розділ, що присвячено дослідженю теплової роботи елементів конструкції ДСП, що охолоджуються водою, здається мені майже бездоганним, лише здивим здається підрозділ 4.1., що є поясненням для читача дисертації, щодо структури й змісту розділу. Методи розрахунку водоохолоджуваних

елементів корпусу ДСП перевірено практикою, що є гарним свідченням якості теплових розрахунків на основі коректного математичного моделювання.

П'ятий розділ роботи, що присвячено розробці сучасної системи аспірації ДСП в повній мірі є дуже важливим елементом створення сучасних конструкцій печей великої потужності. Автором продемонстровано вміння поєднувати математичне моделювання з експериментом. експериментом. На превеликий жаль й тут автором зроблено притаманну його стилю помилку – щось важливе згадується в тексті, як загальновідоме – на стор. 175 це виглядає так «У подальших дослідженнях впливу системи аспірації на показники енергоефективності ДСП використовували метод чисельного моделювання в пакеті прикладних програм, перевагою якого перед фізичною моделлю є можливість робот без обмежень лінійного масштабу». Безумовно, таке твердження є вірним й загальновідомим, але варто було б вказати, який пакет прикладних програм було використано й чому саме цей пакет, а не інший. Лише через п'ять сторінок в іншому підрозділі під назвою «Чисельне моделювання» знаходимо, що використано один з пакетів SolidWorks, а результати цього моделювання надано далі в інших підрозділах. Таке викладення матеріалу має право на існування, але все ж таки утруднює сприйняття матеріалів дисертації.

Шостий розділ дисертації можна вінести до найбільш нової частини дисертації, адже його присвячено пionерській розробці автора по переробці залізовмісних відходів в ДСП. Оскільки цей напрямок майже не розробляється в країні, а у світі йде постійна розробка все нових й нових методів так званого прямого вилучення заліза з оксидів. Запропонована автором концепція агрегату на основі ДСП постійного струму з двома анодами безумовно потребує подальших досліджень, адже навіть перші результати на 200кг лабораторній ДСП видаються перспективними. Зауважимо авторові, що порівняння з широко рекламиваним процесом з залізними самородками (Nuggets- process Itmk3®) не є продуктивним, адже цей процес поки що не виправдав надій, що на нього покладали. Тому здається, що цей розділ краще було б зробити останнім в дисертації, щоб показати перспективні напрямки застосування нових ДСП.

Сьомий розділ роботи присвячено модній зараз темі ДСП постійного струму. З огляду на тему дисертації цей розділ безумовно є невід'ємною частиною дослідження. Той факт, що в Україні (і в Росії теж) ДСП постійного струму використовують перш за все для ливарного виробництва, тобто для відносно малих печей, не змінює того базового принципу, що зниження питомих витрат електроенергії при використанні ДСП потребує не тільки оптимізації теплової роботи печі, а й зниження її імпедансу. Тому доцільно було б торкнутись й простого електричного розрахунку, ѹ хоча б згадати про можливість використання струму низької частоти в ДСП ѹ напрямок впливу різного типу струмів (50Гц, постійний струм ѹ струм низької частоти) на теплову роботу й гідро-аеромеханіку ДСП. Восьмий розділ, що присвячено реалізації наукового здобутку автора в промисловості цілком інформативний ѹ став основою для моого позитивного висновку щодо високого класу докторської дисертації **Тимошенка С.М.**

Оцінюючи дисертаційну роботу в цілому, можна зробити висновок про те, що роботі отримано нові перераховані вище наукові та технічні результати в галузі теплофізики дугових сталеплавильних печей, які в сукупності вирішують важливу прикладну наукову проблему підвищення ѹї енергоефективності

Значимість для науки і практики дисертації Тимошенка С.М. полягає в оригінальному підході до вирішення складної і комплексної проблеми оптимізації теплофізичних процесів в ДСП (теплопередачі та гідро - аеромеханіки), що базується на вивченні тепломасообмінних процесів при роботі ДСП різних типів, в т.ч. на постійному струмі, малої та великої садки,. Проблема вирішена послідовно ѹ всебічно, що обумовило попит на запропоновані технічні рішення з боку конструкторів ѹ печебудівників, а також електрометалургів ѹ сприяло широкому впровадженню результатів дослідження автора в промисловості.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.
Основний зміст, наукові положення, результати і висновки дисертаційної роботи

досить повно висвітлені в Матеріали дисертації опубліковано в 63 друкованих роботах, в тому числі: 29 – в фахових наукових виданнях, рекомендованих МОН України, із яких 5 – в виданнях України і 3 – в виданнях іноземних держав, включених в міжнародні наукометричні бази; в 2 колективних монографіях; в 10 патентах України. . Перелік публікацій, їх зміст та обсяг відповідають темі дисертації та у повній мірі відображають основні положення, наукові результати та висновки роботи дисертанта. Результати дисертаційної роботи були обговорені і отримали позитивну оцінку на більш як 10 міжнародних фахових науково-технічних конференціях.

Ефективність розроблених в роботі методів, новизна, обґрунтованість і практична цінність отриманих результатів, їх достовірність, а також відповідність поставлених задач зробленим висновкам дають підстави зробити висновок про **закінченість** дисертації в цілому.

Зміст роботи відповідає паспорту спеціальності 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

В той же час за текстом дисертації та автореферату є додаткові зауваження:

1. Автор надмірно використовує абревіатури, іноді читачеві навіть важко знайти їх тлумачення.
2. Багато місць з вільним використанням відомої й чітко визначеної термінології, наприклад, на стор. 23 (вступ до дисертації) мова йде про аеромеханіку пилогазового середовища, а використано термін гідромеханіка.
3. В першому пункті наукової новизни наведені діапазони зміни параметрів процесу в ДСП, але не вказано, чи для всіх типів ДСП ці закономірності вірні.
4. Це ж сам стосується й другого пункту наукової новизни - доцільно було вказати не просто « ДСП різної місткості», а навести конкретні величини.
5. Впадають в очі недолугі коректорські помилки як-то в назві п'ятого розділу (стор. 19 – ЗМІСТ замість ГІДРОМЕХАНІКИ надруковано ГІДГОМЕХАНІКИ).

6. Ще одна особливість авторського стилю оформлення дисертації заважає сприйманню основного змісту роботи. Наприклад, Рис.1.15 де поєднується власне малюнок й таблиця. Більш того, зустрічаються під одним номером малюнки різного змісту, що їх недоцільно було розділяти лише позначками а) та б) – один з яскравих прикладів – Рисю3.20 а) та 3.20 б). Більш того, позначення з цих рисунків дано в тексті, що знаходиться істотно далеко від власне цих рисунків.

7. Таке ж зауваження по Рис. 4.17, в якому чомусь зведено під одним номером втрати заліза й залежність складових теплового навантаження на водоохолоджувані елементи від геометричних параметрів печі.

8. До речі, наведенні на рис. 4.17 в) результати по втратах заліза при базовій та «глибокій» ванні потребують коментарів, щодо статистичної похибки, або ж кількості вимірювань

9. Загалом, дисертація вміщує дуже багато експериментальних та розрахункових результатів й її перевантажено малюнками та таблицями

Досить велика кількість зроблених зауважень та поставлених питань є показником цікавості дисертаційної роботи. Перелічені зауваження не вносять значних коректив в суть і висновки дисертації Тимошенка С.М., наукова обґрунтованість, достовірність положень та висновків якої не викликає сумнівів.

Дисертаційну роботу виконано на високому науково-технічному рівні. Оформлення рукопису відповідає встановленим ВАК України вимогам, хоча й викликало в мене багато зауважень.

Дисертація написана коректною технічною мовою. Результати роботи викладені в логічній послідовності з повним і наочним поданням матеріалів, ілюстрованих малюнками і таблицями. Стиль викладення результатів, хоча й в деяких місцях занадто ускладнений, забезпечує повноту сприйняття. Зміст автoreферату є ідентичним основним положенням та результатам, які наведені в дисертації. Висновки дисертації відповідають тексту, є логічними і послідовними, та повністю відповідають виконаним дослідженням. Результати дисертаційної роботи можуть бути рекомендовані до використання в

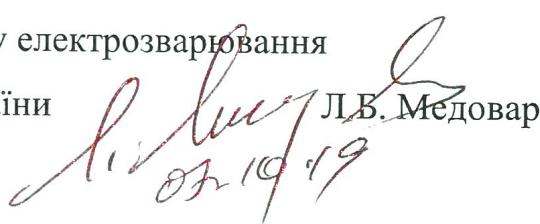
електрометалургійних цехах України та за кордоном, а також при проектуванні нових ДСП.

Таким чином, на основі представленого вище оцінювання в цілому дисертаційної роботи Тимошенка Сергія Миколайовича «Розвиток наукових основ підвищення енергоефективності дугових сталеплавильних печей» вважаю, що робота повністю відповідає вимогам діючого "Порядку присудження наукових ступенів та присвоєння вчених звань", а її автор – Тимошенко Сергій Миколайович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – «Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика»

Доктор технічних наук, професор,

Завідувач відділу Інституту електрозварювання

ім. Є. О. Патона НАН України

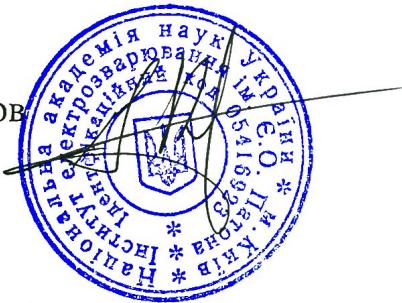

Л.Б. Медовар
03.10.19

Підпис професора Л.Б. Медовара засвідчує:

Вчений секретар Інституту електрозварювання

ім. Є. О. Патона НАН України

к.т.н. І.М. Клочков



проф. , д.т.н. Медовар Л.Б

зав. від. IEZ ім. Є.О. Патона НАН України