

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет міського господарства  
імені О. М. Бекетова  
61002, м. Харків, вул. Маршала Бажанова, 17, ХНУМГ імені О. М. Бекетова,  
тел. (057) 707-33-31, факс. (057) 706-15-54

## **ЗВІТ**

**за науково-дослідною**

**" Розробка електротехнічного комплексу для енергоефективних технологій обробки дисперсних і в'язких речовин на основі багатофункціонального перетворювача енергії "**

держбюджетна тема № 53-78/22

Номер державної реєстрації: 0122U001145

Номер облікової картки заключного звіту: 0224U000193

Строки виконання: початок – 01.01.2022, закінчення – 31.12.2023

2023

Роботу присвячено вирішенню актуальної соціально-економічної проблеми підвищення енергетичної ефективності та проблеми екологічної безпеки у технології переробки сировини, зокрема технологій нагрівання, змішування та транспортування в'язких і сипких матеріалів в різних галузях промисловості і сільського господарства. Комплекси з переробки сировини, що існують, споживають енергію від спалювання природного газу, вуглю, мазуту, а сама технологія супроводжується викидами шкідливих речовин. Зростання цін на енергоносії загострює економічну недоцільність експлуатації комплексів старого зразка. У зв'язку з цим науково-дослідна робота спрямована на розробку багатофункціонального перетворювача енергії (БФПЕ), який споживає лише електричну енергію на всіх етапах технологічного процесу з переробки сировини. В розробці задіяно як нові підходи в оптимізації енергетичних показників БФПЕ, так і досвід попередніх експериментальних досліджень і виробничих випробувань, проведених авторами проєкту. Результати досліджень дозволять вперше створити конкурентоздатні та екологічнобезпечні вітчизняні електротехнічні комплекси на базі БПЕ, що передбачають повне використання дисипативної енергії, структурну, функціональну та теплову інтеграцію і є розумною альтернативою традиційним комплексам.

Робота базується на попередніх дослідженнях авторів у створенні багатофункціональних перетворювачів енергії та серії проведених лабораторних та виробничих випробуваннях прототипів. Оскільки БФПЕ є абсолютно новим класом електромеханічних пристроїв, при їх створенні виникає комплекс невирішених теоретичних і практичних проблем. Перш за все, повинні бути проведені моделювання та розробка основних принципів структурної, функціональної та теплової інтеграції БФПЕ. Складність створення методики проектування БФПЕ полягає саме в синтезі декількох функцій пристрою, здатних одночасно виконувати роль електродвигуна, нагрівача і виконавчого механізму. Алгоритм проектування повинен починатися з встановлення реальних механічних і теплових навантажень, які формуються технологічним середовищем і впливають на параметри феромагнітного ротора. БФПЕ слід розглядати як теплообмінну систему з внутрішніми джерелами теплової енергії, в якій ведеться пошук оптимальної структури, що забезпечує не тільки допустимі рівні температур електричної ізоляції відповідно до класу їх нагрівостійкості, а й досягнення максимальної рекуперації теплової енергії.

Мета науково-дослідної роботи полягає у розробці технічного проекту на виготовлення багатофункціонального перетворювача енергії (БФПЕ) з метою підвищення енергоефективності та екологічній безпеці технологій нагрівання, змішування та транспортування в'язких і сипких матеріалів в галузях нафто-переробного комплексу, виробництва цементу, вугільній, металургійній промисловості та сільського господарства.

Для досягнення мети проєкту необхідно вирішити такі основні завдання:

- 1) Розробити конструкцію одномодульного автономного БФПЕ з поліпшеними тепло-механічними властивостями із забезпеченням зчеплення з іншими модулями для нарощування довжини технологічної лінії.
- 2) Розробити методику проектування та математичного моделювання перехідних режимів БФПЕ та програмне забезпечення з їх реалізації.
- 3) Розробити систему управління роботою модулів БФПЕ із підтримкою стабільного значення моменту на низьких частотах обертання ротора.
- 4) Розробити систему диспетчерського управління технологічним процесом (SCADA) з обробки сировини.
- 5) Виготовити дослідний зразок системи управління.
- 6) Виготовити та виконати експериментальні та виробничі дослідження двох модулів БФПЕ.

Ідея роботи полягає у розробці принципово нової ідеології оцінки енергетичної ефективності перетворення енергії і моделювання теплових процесів в рамках термодинаміки нерівноважних процесів з встановленням феноменологічних параметрів і співвідношень. Згідно до робочих гіпотез, запропонована розробка спрямована на мінімізацію вартості комплексу з обробки сипких та в'язких матеріалів, зокрема для підготовки палива ТЕЦ, цементному виробництві, водо-вугільного палива тощо. Важливим завданням, в зв'язку з цим, є теоретичне обґрунтування та експериментальне визначення умов формування результуючого моменту і динамічної стійкості БФПЕ. Традиційні методи експериментального визначення механічних характеристик неприйнятні через відсутність в БФПЕ вихідного кінця валу. Рішення зазначених науково-технічних завдань є актуальними для різних галузей промисловості та сільського господарства і ґрунтується на попередніх наробках авторів, вітчизняних та закордонних вчених.

В науково-дослідній роботі пропонується розроблення комплексу, який комбінує декілька технологічних функцій в одному пристрою. Важливим є те, що така комбінація реалізується не за рахунок «комбінованого монтажу різних вузлів в одному корпусі», а за рахунок принципу дії специфічних асинхронних машин із зовнішнім порожнистим масивним (феромагнітним) ротором. Виконання проєкту ґрунтується на:

- 1) сучасних методах аналізу взаємопов'язаних електромагнітних, електромеханічних, теплових та гідродинамічних процесів в БФПЕ які дозволяють аналізувати стан і динамічні режими пристрою з урахуванням всієї сукупності основних факторів: складної конфігурації активної зони, нелінійності фізичних властивостей матеріалів, ефектів витиснення вихрових струмів в масивному роторі з урахуванням обертового характеру магнітного поля, реального нагріву елементів конструкції і умов теплообміну з робочим середовищем, особливостей розподілу електромагнітних сил і моментів;
- 2) нових підходах до представлення математичної моделі БФПЕ як системи з нерівноваженими термодинамічними процесами, які базуються на тому, що термодинамічна ефективність БФПЕ при спрямуванні потужності спотворення до нуля приймає значення, близькі до енергетичного критерію, який являє собою добуток електричного ККД, теплового ККД і коефіцієнта потужності;
- 3) нових методах до визначення функціональні залежності номінальних параметрів БФПЕ виходячи з позиції проектного синтезу, тобто отримання вихідних параметрів через попереднє визначення термодинамічних, гідродинамічних та механічних навантажень з урахуванням їх взаємного впливу та продуктивності комплексу в цілому. Для реалізації усіх складових комплексу буде використано найсучасніші підходи до моделювання електромагнітних процесів у 3D та 2D постановці із верифікацією теоретично отриманих результатів на сучасних мікропроцесорних системах управління та цифрових вимірювальних приладах.

Виготовлення та випробування багатофункціонального перетворювача енергії (БФПЕ) виконувалось у декілька послідовних етапів:

- 1) Виготовлення першого модуля БФПЕ, який за принципом дії є статором, а за конструктивним виконанням наближається до фазного ротора асинхронного двигуна. Проведення тестування обмоток, вимірювання активного опору фаз.
- 2) Виготовлення другого модуля БФПЕ. Проведення тестування обмоток, вимірювання активного опору фаз.
- 3) Виготовлення тонкостінного порожнистого масивного ротора.
- 4) Монтаж двох статорних модулів всередині масивного ротора, встановлення датчиків температури, швидкості та витрат охолоджувального повітря.
- 5) Виготовлення корпусу БФПЕ, розміщення системи нагрівання днища, монтаж системи вентиляції.
- 6) Підключення перетворювачів частоти, розробка системи диспетчерського управління.
- 7) Проведення лабораторних випробувань БФПЕ в науково-дослідній лабораторії Schneider Electric «Системи автоматизованого електроприводу та електричних апаратів» ХНУМГ ім. О.М. Бекетова на кафедрі систем електропостачання та електроспоживання міст.
- 8) Проведення випробувань БФПЕ у виробничих умовах на ТОВ «НБК «Спецелектромаш», м. Харків на вільній ділянці цеху завантаження сипких матеріалів.

Отримані результати звітної НДР:

Розроблено та узгоджено технічне завдання.

Розроблено перший і другий модулі багатофункціонального перетворювача енергії (БФПЕ).

Розроблено систему автоматизованого управління.

Розроблено методику проектування БФПЕ.

Розроблено програмне забезпечення з оптимального проектування БФПЕ.

Проведено експериментальні дослідження робочих режимів БФПЕ.

Виконано аналіз стійкості роботи двохмодульного комплексу.

Уточнено методику проектування комплексу з декількома модулями БФПЕ.

Проведено лабораторні та виробничі дослідження БФПЕ.

Виконано корекцію технічних рішень за результатами експериментальних випробувань.

Підготовлено проектно-конструкторську документацію до серійного виробництва.

Оформлено заключний звіт з НДР.

Звітна документація:

Публікації у Scopus/WoS: 8

Доповідей на міжнародних Scopus конференціях: 9

Фахові публікації (категорії Б): 16

Монографія: 1

Охоронних документів: 7

Представлення результатів на виставкових заходах – 2;

Представлення розробки в конкурсі стартапів – 2.

Монографія (англ. мовою у закордонному виданні): 3

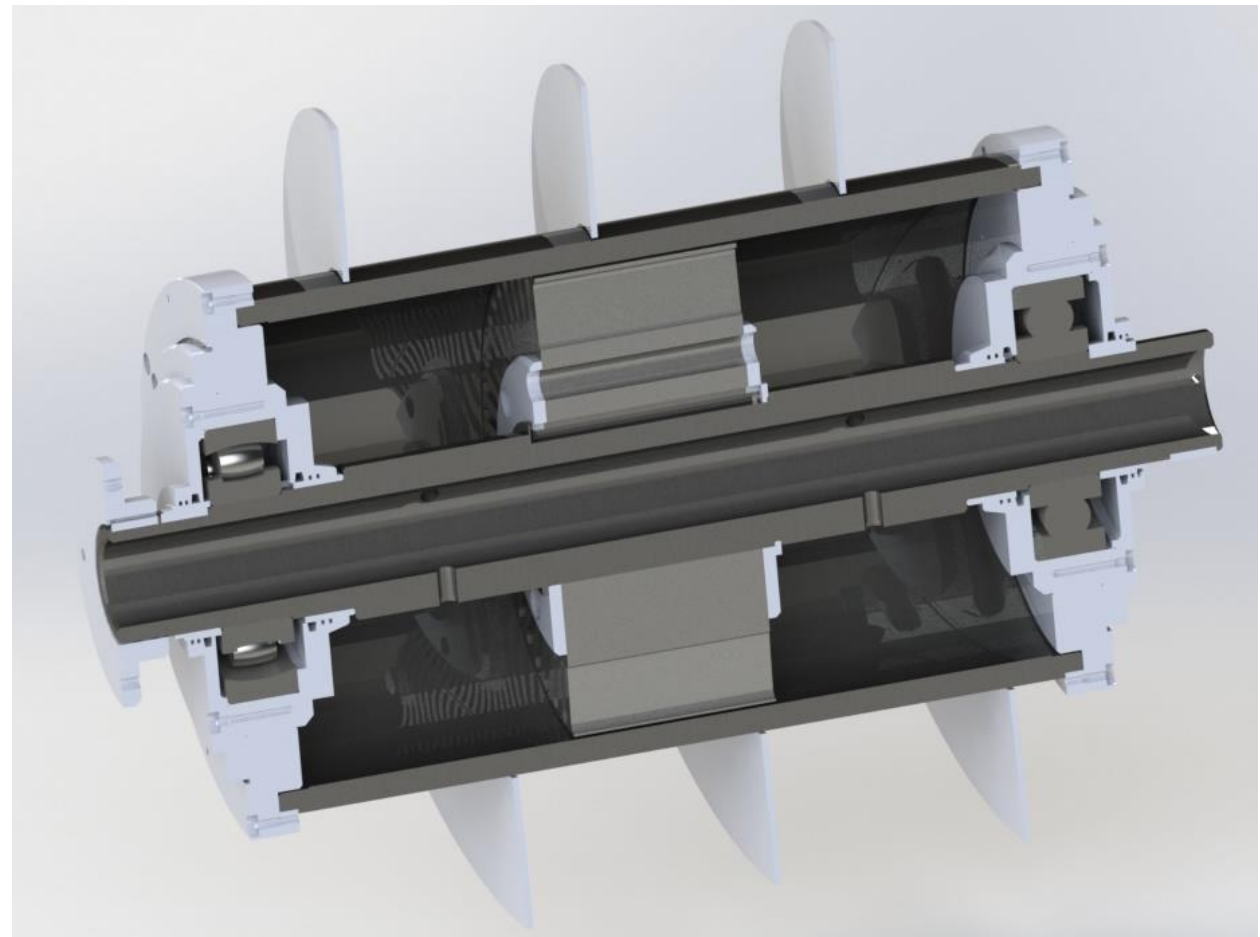
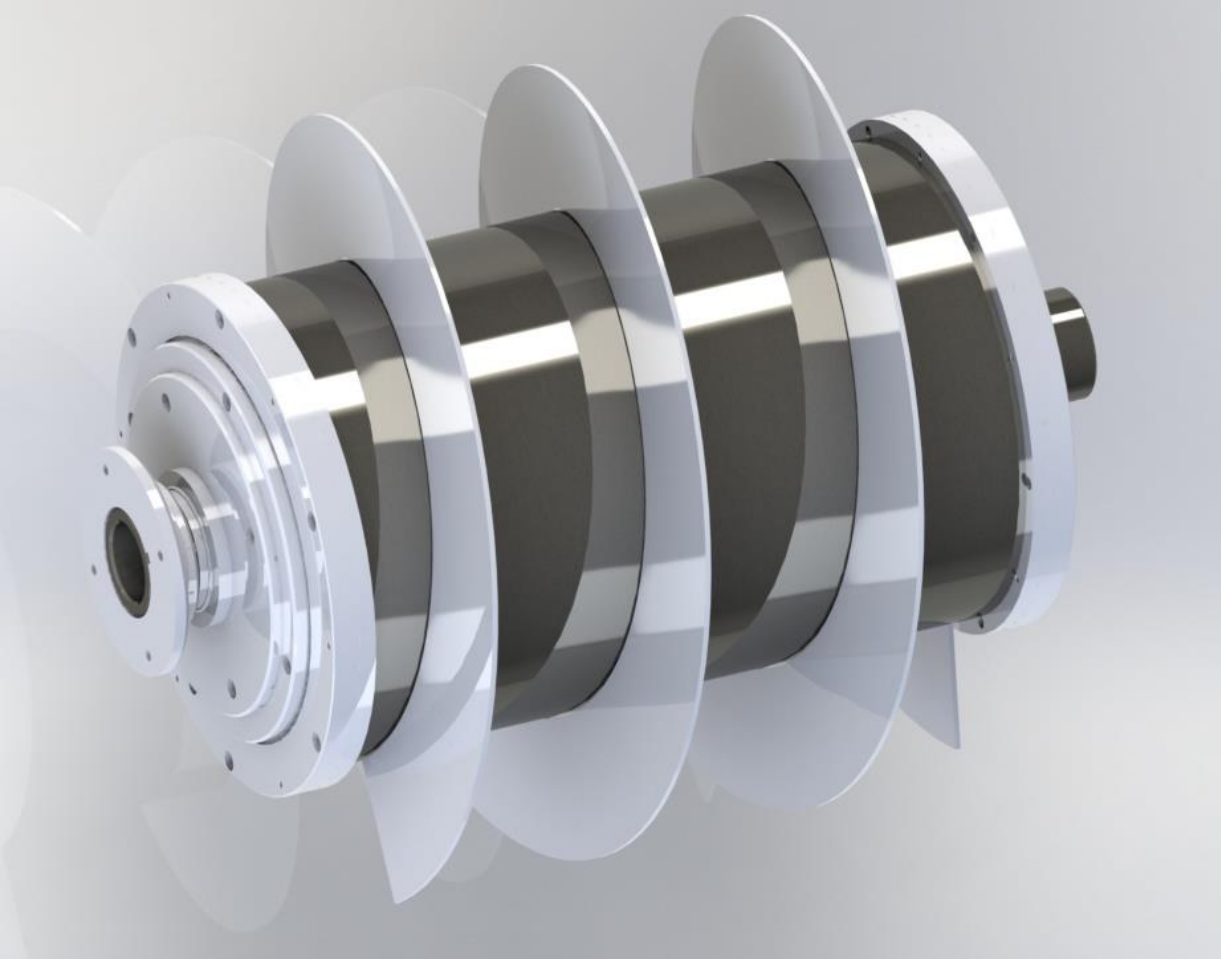
PhD дисертацій: 2

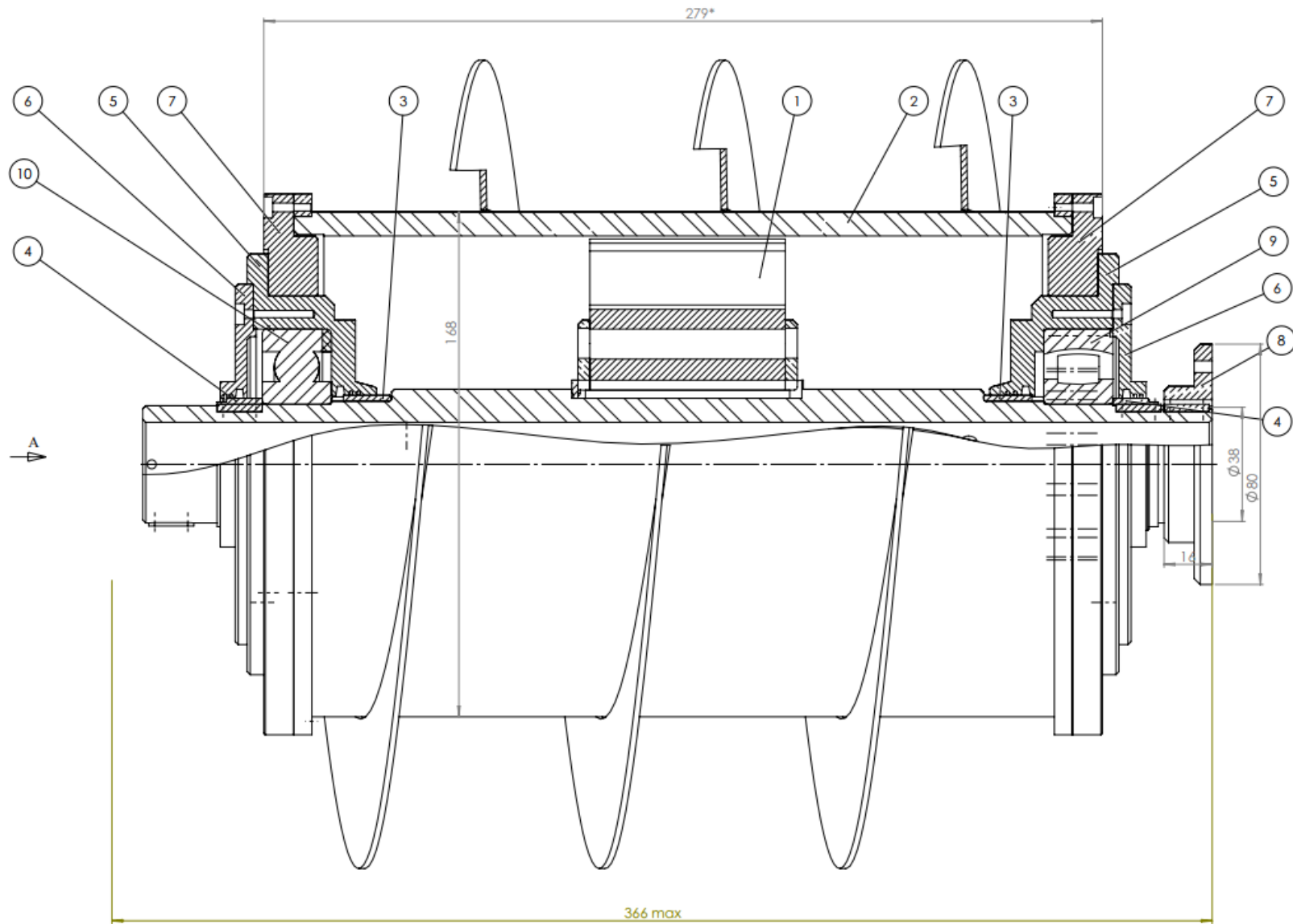
Докторських дисертацій: 1

Промислові агрегати, призначені для обробки сипких (вугільний шлам, вугільний концентрат, сировина для палива ТЕЦ, зерно) та в'язких (парафін, бітум, в'язкі фракції нафти, мазут) матеріалів уявляють собою поєднання окремих механізмів для здійснення функцій змішування, нагрівання та транспортування. Наприклад, це комплекс для переробки вугільного шламу, тепломасообмінні агрегати, обладнання для переробки технологічних відходів деревини, сушильні барабани, агрегати для виробництва твердого палива (палет) із відходів деревини. Кожний з механізмів, що входить до складу агрегату, має власні ККД та показники надійності. В результаті, значення ККД і надійності агрегату в цілому будуть менше за відповідні окремих вузлів та дорівнюють їх добутку. Додатковими недоліками таких агрегатів є споживання природного газу, вуглю або мазуту для виробництва гарячої пари у котельнях (пара використовується для подання на суміші з домішками вапна, які підлягають сушці), що негативно впливає на екологічні та енергетичні показники комплексу в цілому.

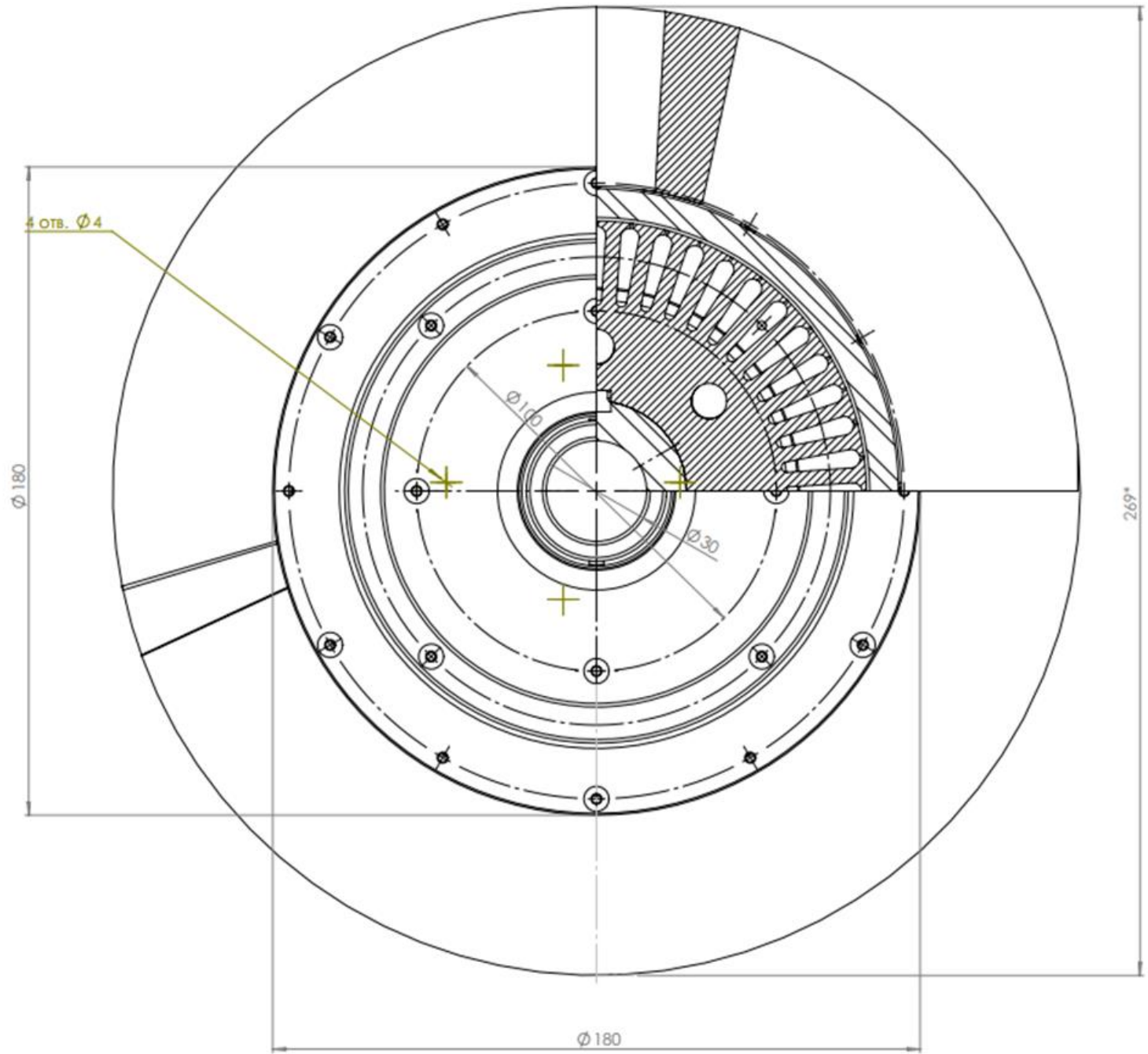
В науково-дослідній роботі пропонується розроблення нового комплексу, який на відміну від таких, що існують, комбінує перераховані технологічні функції в одному пристрою. Асинхронні машини з масивним ротором, які зараз виготовляються і використовуються в електроприводі механізмів з підвищеним пусковим навантаженням, мають недолік, який полягає у низькому значенні ККД через втрати у сталі масивного ротора. У БФПЕ ця теплова енергія перетворюється з негативної на корисну, оскільки становиться складовою технологічного процесу з обробки вологих сумішей. Така властивість отримала назву «повне використання дисипативної енергії» і реалізована у БФПЕ. Окрім того, механічні втрати у БФПЕ також йдуть на нагрівання «робочого» матеріалу. Отже, інтегроване значення ККД БФПЕ теоретично наближається до 99 %.

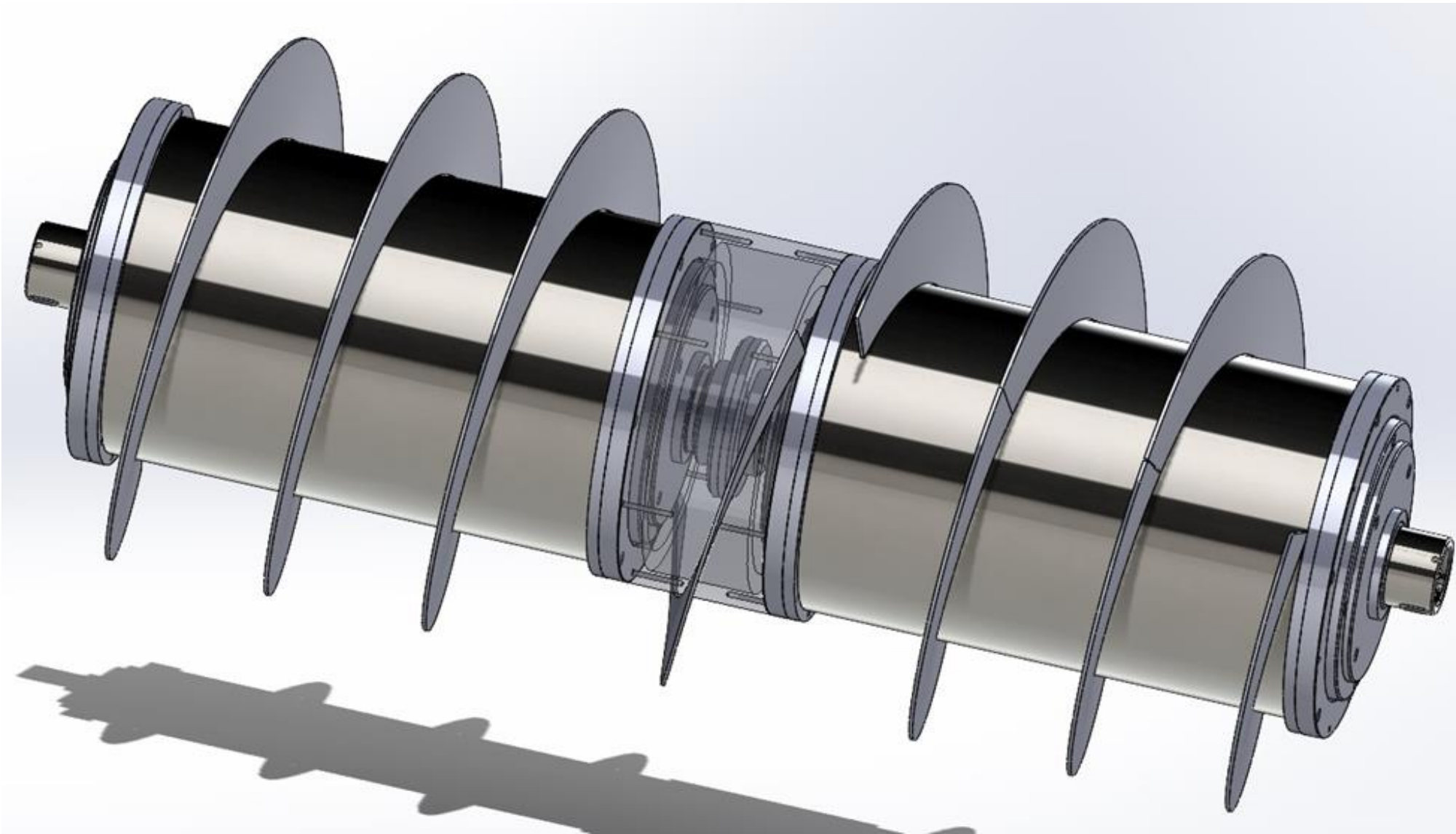




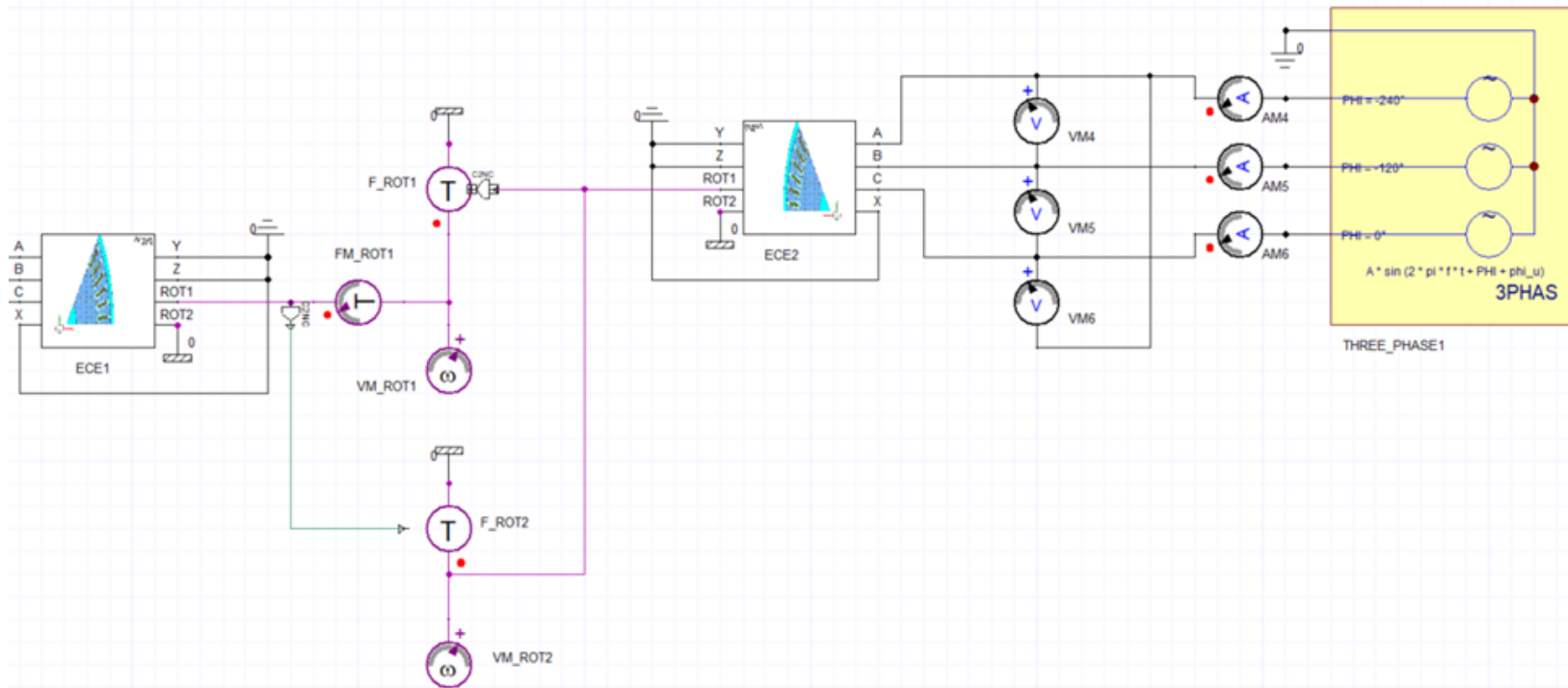


1 – статор; 2 – ротор; 3 – втулка під капсуль; 4 – втулка під кришку; 5 – капсуль; 6 – кришка; 7 – щит; 8 – фланець; 9 – підшипник роликовий; 10 – підшипник кульовий

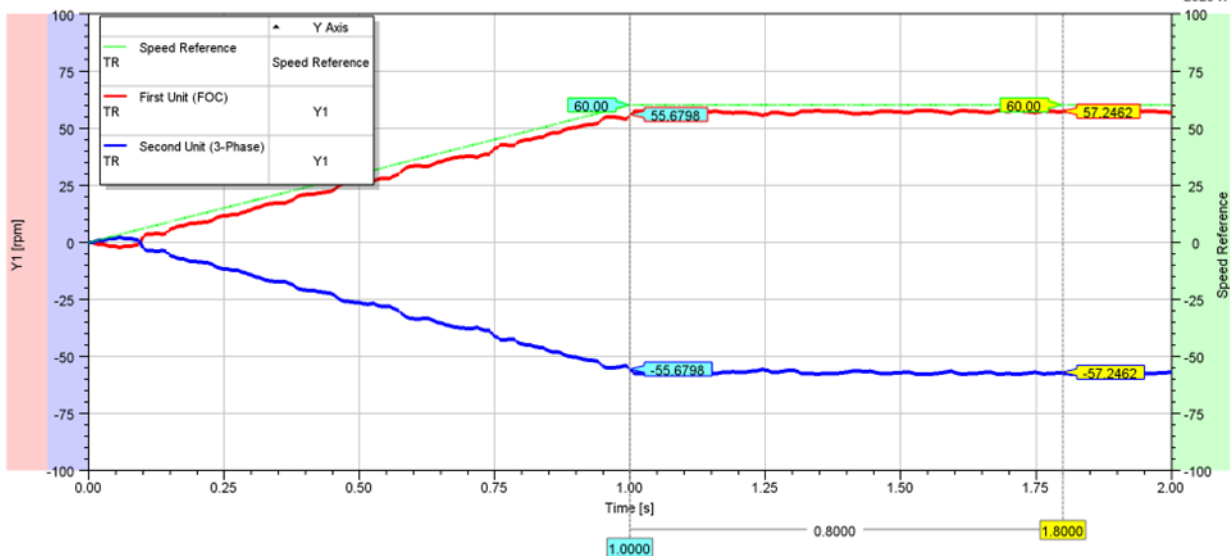




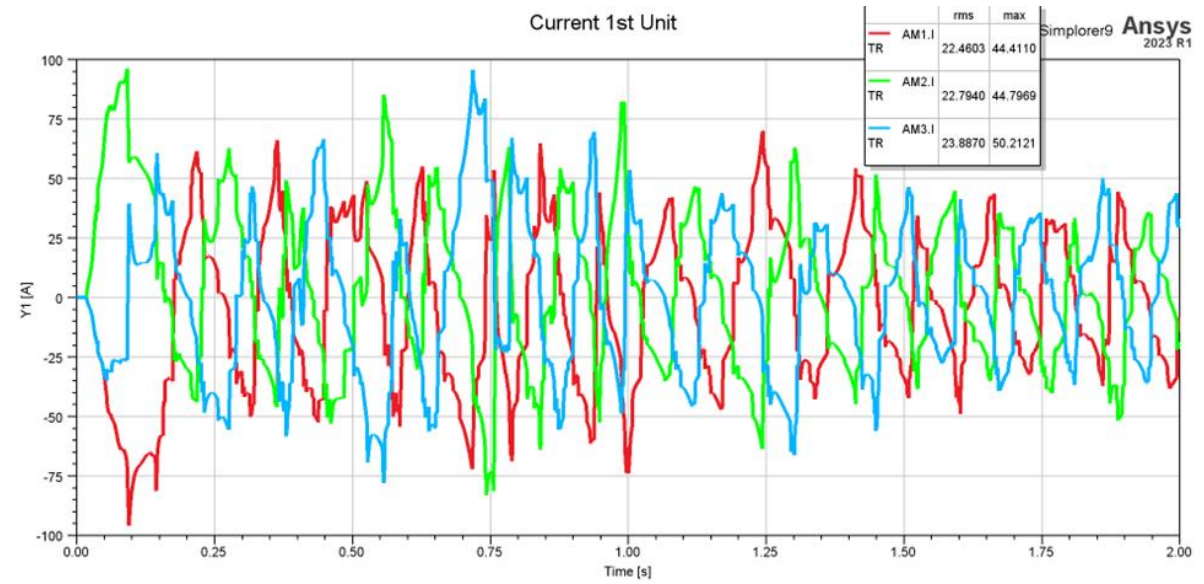


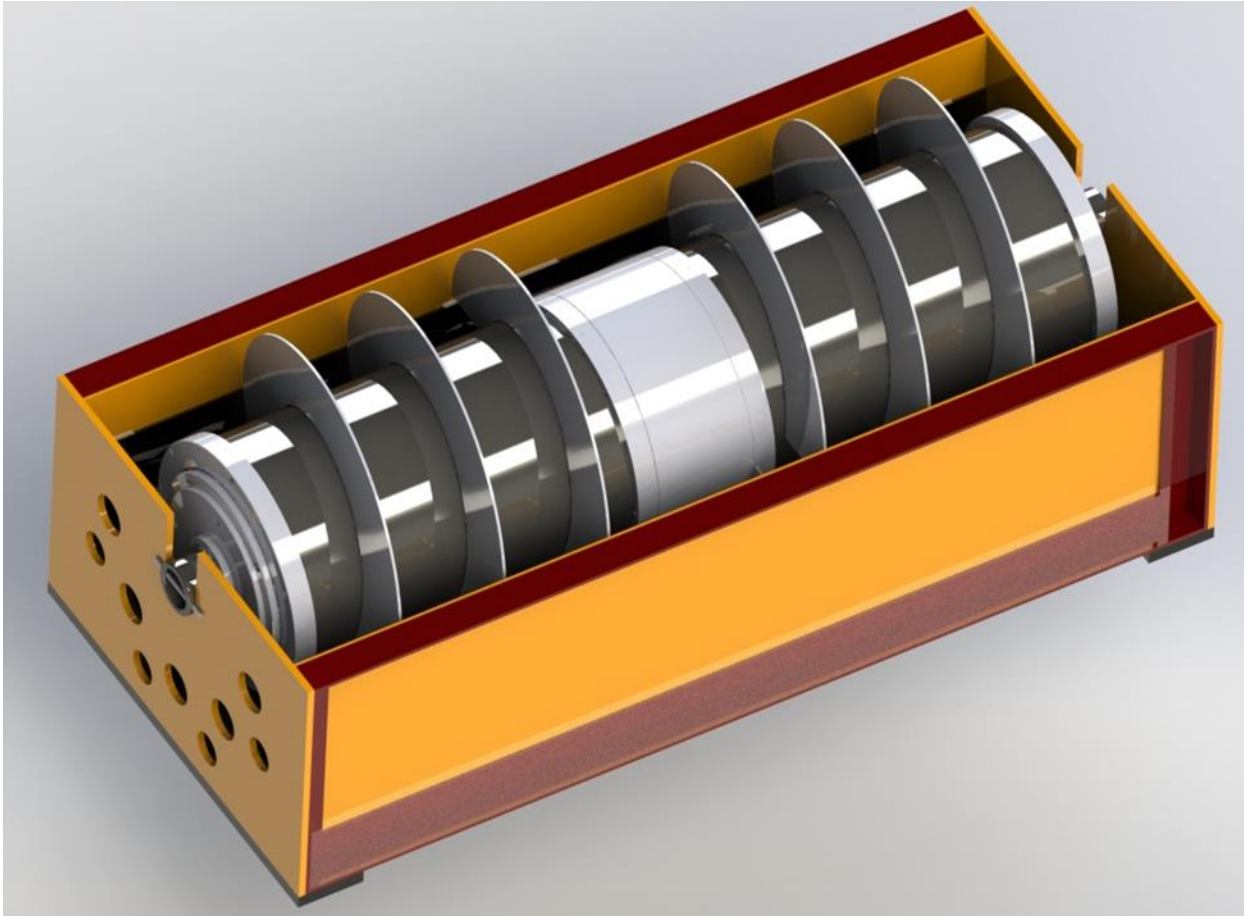


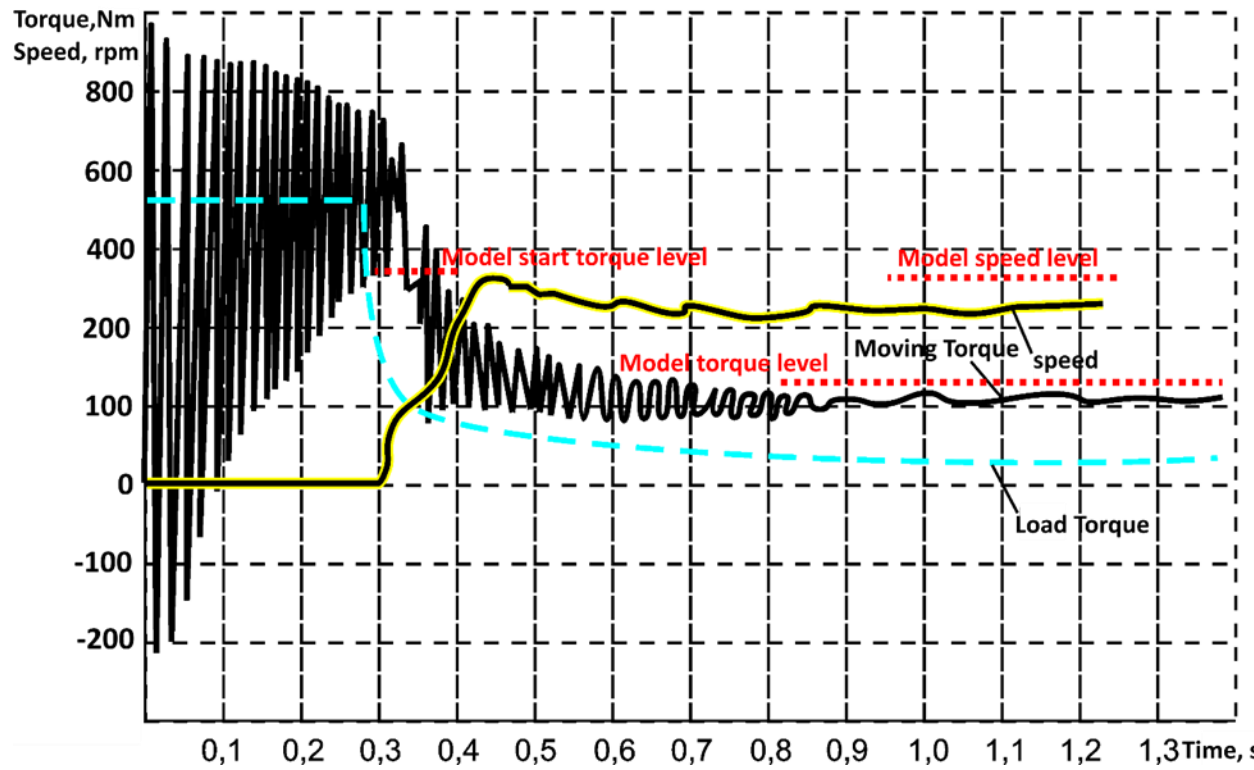
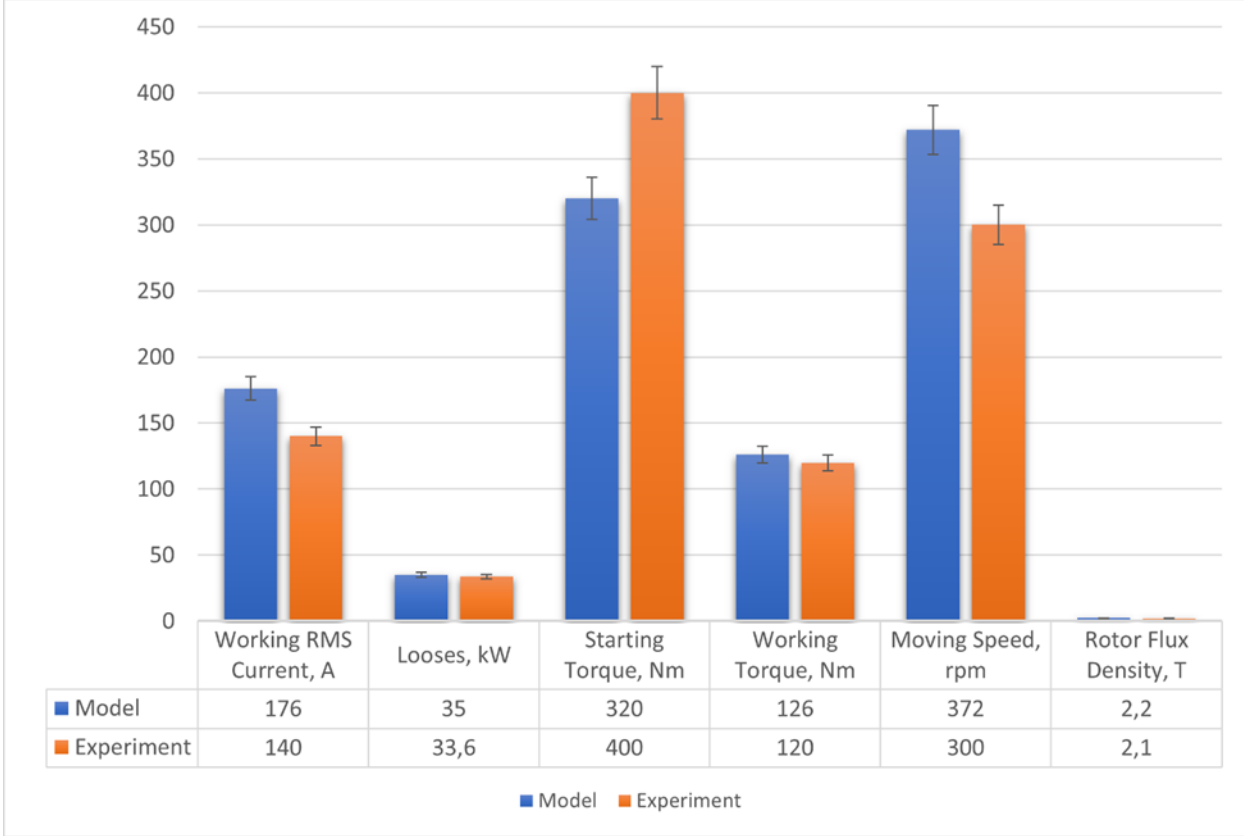
Moving Speed



Current 1st Unit







## **Одержані наукові результати:**

1. Перші, розроблені в Україні, зразки багатофункціональних перетворювачів енергії, які суміщають в одному пристрої механічні, теплові та транспортні функції. Розробка доведена до виготовлення експериментального зразка двохмодульного агрегату та системи частотного управління.
  2. Вперше розроблені підходи до проектування багатомодульних електромеханічних перетворювачів зі зворотним визначенням номінальних параметрів на базі механічних та теплових навантажень з урахуванням продуктивності технологічного процесу з обробки сировини.
  3. Вперше, розроблений в Україні, новий підхід до механічної та теплової обробки сипких та в'язких матеріалів, позбавлений шкідливих екологічних наслідків. Для нагрівання сипких матеріалів використовується виключно електрична енергія на базі ефекту індуктованих струмів.
  4. Комплект технічної документації з виготовлення багатофункціональних перетворювачів енергії, які складаються з окремих модулів, та системи частотного управління. Система частотного управління відрізняється тим, що дозволяє збалансувати параметри живлення модулів для забезпечення сталої і низької швидкості обертання одночасно із підтриманням рівномірності нагрівання поверхні зовнішнього масивного ротора шнекового типу.
  5. Методика та програмна реалізація оптимального проектування (САПР) багатофункціональних перетворювачів енергії з графічним інтерфейсом користувача та автоматичною генерацією проектно-конструкторської документації.
- Результати роботи дозволяють розвинути методи оптимізації електричних машин в усталених та перехідних режимах, які є складовою сучасної теорії проектування. Розроблені методи дистанційного сервісу дозволять виконувати роботи над одним проектом паралельно колективом дослідників. Впровадження нового підходу до побудови проекту на базі об'єктно-орієнтованого аналізу зменшує час, який витрачається як на проектні роботи, і, як наслідок, впливає на зменшення супутніх витрат.
- Наукова та прикладна цінність отриманих результатів, їх світовий пріоритет підтверджуються публікаціями авторів проекту у високореєтингових світових журналах та конференціях.



## **Практична цінність результатів**

Впровадження розробки дозволить виробляти в Україні сучасні екологобезпечні та енергоефективні комплекси з обробки сипких та в'язких матеріалів, основою яких є багатофункціональні перетворювачі енергії (БФПЕ), а отже узгоджується з положеннями закону України про національну безпеку в частині екологічної безпеки (стаття 3, п. 3.4). Завдяки цьому результати роботи сприятимуть вирішенню таких важливих вітчизняних та світових соціально-економічних проблем:

1. Підвищення якості роботи підприємств з переробки сировини та енергозбереження: електричний сушильний комплекс, яким є БФПЕ, використовує тільки електроенергію і володіє певною мобільністю в пересуванні в залежності від умов експлуатації. Відсутність викидів продуктів згорання палива, застосування системи регенерації випареної вологи, герметичність тракту сушки покращують екологічні показники технологічного процесу сушіння. В БФПЕ всі види втрат активної потужності відносяться до корисної теплової потужності, а максимум загального ККД визначається умовами, коли тепловіддача в навколишнє середовище, яке не відноситься до робочої суміші, мінімальна.
2. Розвиток електротехнічного сектору промисловості і створення нових робочих місць за рахунок налагодження в Україні виробництва комплексів на базі БФПЕ, призначених для широкої галузі застосування: обробка вугільних концентратів на збагачувальних комбінатах для виготовлення твердого палива для ТЕЦ; обробка відходів деревини для виготовлення палет (твердого органічного палива); нагрівання і транспортування куль з поліетилену; використання у якості прокатних валків, які здатні самі підігріватись і обертатись без стороннього приводу, редуктора і нагрівача; сушка і перемішування зерна; використання у паперово-виробничій промисловості та інші види застосувань.
3. Імпортозаміщення закордонних виробів для обробки в'язких та сипких матеріалів за рахунок використання БФПЕ та технологій на їх основі. Крім того, успішні випробування та впровадження комплексів з переробки сировини на базі екологобезпечних та енергоефективних КЕМТМ сприятиме підвищенню експортного потенціалу України.

## Перелік опублікованих за темою статей в журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus та/або Web of Science Core Collection:

1. Zablodskiy, M. M., Pliuhin, V. E., Kovalchuk, S. I., & Tietieriev, V. O. (2022). Indirect field-oriented control of twin-screw electromechanical hydrolyzer. *Electrical Engineering & Electromechanics*, (1), 3–11. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2022.1.01>
2. Tsegelnyk, Yevgen & Kombarov, Volodymyr & Sergiy, Plankovskyy & Aksonov, Yevhen & Pliuhin, Vladyslav & Aksonov, Oleksandr. (2022). Investigation of the portal-type machine tool gear-belt gearbox. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*. 1. 295-302. <https://doi.org/10.17683/ijomam/issue11.4>
3. Vladyslav Pliuhin, Sergiy Zaklinskyy, Sergiy Plankovskyy, Yevgen Tsegelnyk, Oleksandr Aksonov, Volodymyr Kombarov. A Digital Twin Design of Induction Motor with Squirrel-Cage Rotor for Insulation Condition Prediction. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, 2023, Issue 14, Pp. 185-191. <https://doi.org/10.17683/ijomam/issue14.22>
4. Aksonov, Y., Tsegelnyk, Y., Piddybnyi, O., Kombarov, V., Plankovskyy, S., & Piddubna, L. (2022). Interactive design of CNC equipment operator panels. *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics*, (12), 156–162. <https://doi.org/10.17683/ijomam/issue12.23>
5. Kombarov, V., Tsegelnyk, Y., Plankovskyy, S., Aksonov, Y., & Kryzhyvets, Y. (2022). Investigation of the required discreteness of interpolation movement parameters in cyber-physical systems. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 66(1), 1–9. <https://doi.org/10.3311/PPme.17884>
6. Tkachenko, D., Tsegelnyk, Y., Myntiuk, S., & Myntiuk, V. (2022). Spectral methods application in problems of the thin-walled structures deformation. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 8(2), 641–654. <https://doi.org/10.22055/jacm.2021.38346.3207>
7. Kombarov, V., Sorokin, V., Tsegelnyk, Y., (...), Aksonov, Y., Fojtů, P. Smooth acceleration of transverse axis movements in cnc threading machining .( 2023) .*International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics* 2023(13), c. 219-225 <https://doi.org/10.17683/ijomam/issue13.26>
8. Kivirenko, O., Kostenko, S., Sorokin, V., Tsegelnyk, Y, Plankovskyy, S., Kombarov, V. Fiberglass pipeline continuous filament winding automation. (2023). *International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics* . 2023(14), c. 241-247 <http://dx.doi.org/10.17683/ijomam/issue14.28>

**Перелік опублікованих англомовних статей та тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються у наукометричній базі Scopus або WoS:**

1. Aksonov Y., Kryzhyvets Y., Pliuhin V., Tsegelnyk Y., Kombarov V., Plankovskyy S. The motion differential characteristics estimation using incremental encoders in the CNC feedback loop. 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek) 2022. P. 1–6. United States (IEEE) <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916428>
2. Vladyslav Pliuhin, Maria Sukhonos, Volodymyr Babaiev, Vitaliy Tietieriev and Illia Khudiakov. Load Forecasting and Electricity Consumption by Regression Model. STUE-2022. Vol. 536. P. 302-314. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_28)
3. Zablodskiy, M., Shvorov, S., Klendiy, P., Pliuhin, V., Kucheruk, P. Biomethanogenesis Processes of Bird Droppings Mixtures with Substances Containing Lignin Under the Influence of Physical Fields  
2022 IEEE 41st International Conference on Electronics and Nanotechnology, ELNANO 2022 - Proceedings, 2022, PP 391–396  
<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?origin=resultslist&authorId=57204286328&zone=>
4. Pliuhin, V., Plankovskyy, S., Zablodskiy, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y., Kombarov, V. Novel Features of Special Purpose Induction Electrical Machines Object-Oriented Design. In: Cioboată, D.D. (eds) International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2022. ICoRSE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 534, Pp. 265-283. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2_25)
5. Vladyslav Pliuhin, Mykola Zablodskiy, Maria Sukhonos, Yevgen Tsegelnyk and Lidiia Piddubna. Determination of Massive Rotary Electric Machines Parameters in ANSYS RMxprt and ANSYS Maxwell. STUE-2022. Vol. 536. P. 189–201 [https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-031-20141-7_18)
6. Pliuhin, V., Plankovskyy, S., Zablodskiy, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y., Kombarov, V. (2023). Novel Features of Special Purpose Induction Electrical Machines Object-Oriented Design. In: Cioboată, D.D. (eds) International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2022. ICoRSE 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 534. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15944-2_25)
7. Pliuhin, V., Tsegelnyk, Y., Plankovskyy, S., Aksonov, O., Kombarov, V. (2023). Implementation of Induction Motor Speed and Torque Control System with Reduced Order Model in ANSYS Twin Builder. In: Cioboată, D.D. (eds) International Conference on Reliable Systems Engineering (ICoRSE) - 2023. ICoRSE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 762., Pp. 514-531. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7\\_42](https://doi.org/10.1007/978-3-031-40628-7_42)
8. Tietieriev, V., Vladyslav Pliuhin, Okhrimenko, V., Shcherbak, I., Synelnykov, O. (2023). Wind Turbine Permanent Magnet Generator Speed Stabilization System in ANSYS Twin Builder. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 808. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-46877-3\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-031-46877-3_21)
9. Vladyslav Pliuhin, Herasymenko, V., Trotsai, A., Loktionov, G., Shypul, O. (2023). Permanent Magnet Synchronous Generator Stabilization System with Induction Motor in ANSYS Twin Builder. In: Arsenyeva, O., Romanova, T., Sukhonos, M., Biletskyi, I., Tsegelnyk, Y. (eds) Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 808. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-46877-3\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-031-46877-3_23)

## Перелік опублікованих статей у журналах, що входять до переліку фахових видань України:

1. Pliuhin V., Zablodskiy M., Tsegelnyk Y., & Slovikovskyi O. (2022). Development of Imitation Model of an Electromechanical Energy Converter with a Solid Rotor in ANSYS RMxpvt, Maxwell and Twin Builder . Lighting Engineering & Power Engineering, 61(1), 21–29. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2022.61.1.03>
2. Pliuhin V., Tsegelnyk Y., Slovikovskyi O., Duniev O., & Yehorov A. (2022). The Speed Stabilization System of Electromechanical Energy Converters in ANSYS Twin Builder. Lighting Engineering & Power Engineering, 61(2), 55–64. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2022.61.2.03>
3. Tsegelnyk Y., Pliuhin V., Tietieriev V., Duniev O., & Yehorov A. (2022). Electromechanical Energy Converter Imitation Model in SciLab. Lighting Engineering & Power Engineering, 61(2), 65–73. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2022.61.2.04>
4. Pliuhin V., Petrenko O., Tsegelnyk Y., Duniev O., Yehorov A., & Khudiakov I. (2022). Optimization of Electromechanical Energy Converters with a Solid Rotor Output Parameters in ANSYS RMxpvt. Lighting Engineering & Power Engineering, 61(3), 74–85. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2022.61.3.01>
5. Sukhonos M., Pliuhin V., Tsegelnyk Y., Slovikovskyi O., & Varvianska B. (2022). Development of Electric Drive Control System in SoMachine (Schneider Electric) . Lighting Engineering & Power Engineering, 61(3), 93–106. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2022.61.3.03>
6. Aksonov O., Pliuhin V., Tsegelnyk Y., Slovikovskyi O., Duniev O., & Yehorov A. (2022). Electric Drive SCADA Development with Vijeo Designer (Schneider Electric). Lighting Engineering & Power Engineering, 61(3), 107–121 <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2022.61.3.04>
7. V. Pliuhin, M. Zablodskiy. Design features of the screw unit for processing bulk substances. Lighting Engineering & Power Engineering. 2023, Vol. 62, No. 1, Pp. 17-22. DOI: <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2023.62.1.03>
8. O. Petrenko, V. Pliuhin. Design methodology of a multifunctional screw-type energy converter. Lighting Engineering & Power Engineering. 2023, Vol. 62, No. 1, Pp. 28-36. DOI: <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2023.62.1.05>
9. V. Pliuhin, Y.Tsegelnyk, V.Tietieriev. Simulation model of double motors screw unit with a solid rotor in ANSYS Twin Builder. 2023, Vol. 62, No. 2, Pp 44-53 <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2023.62.2.02>
10. G. Loktionov, V. Pliuhin, O. Aksonov, A. Trotsai. The frequency control system of the screw unit with a solid rotor. 2023, Vol. 62, No. 2, Pp 64-70 <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2023.62.2.04>
11. M. Zablodskiy, V. Pliuhin, V. Tietieriev, O. Sinelnykov. Mathematical modeling state analysis of multifunctional energy converters with a solid rotor. 2023, Vol. 62, No. 3, Pp 22-33 DOI: <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2023.62.3.02>
12. V. Pliuhin, O. Aksonov. Mathematical modeling of a Screw Electromechanical Energy Converter Hydrodynamic Processes under Variable Load Conditions. 2023, Vol. 62, No. 3, Pp 33-44 DOI: <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2023.62.3.04>
13. І.О. Худяков, М.К. Сухонос Адаптивна модель підтримки прийняття рішень при управлінні програмами та проектами з реконструкції інженерної інфраструктури. Комунальне господарство міст, 2023, том 4, випуск 178. С 2-9. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-2-9>
14. Teterev, V., & Khudiakov, I. (2022). Simulation of a Hybrid Solar Power Plant with a Hydrogen Generator in MATLAB/Simulink Environment . Lighting Engineering & Power Engineering, 61(2), 30–48. <https://doi.org/10.33042/2079-424X.2022.61.2.01>
15. Kostiuikov I., Lytvynenko S., Lavrinenko O. Mathematical model for the evaluation of dielectric properties of inner layers of insulation in three-core belted cables. Przegląd Elektrotechniczny. 2023. No. 12. P. 177–180. <https://pe.org.pl/articles/2023/12/31.pdf>
16. Костюков І.О., Кубрик Б.І. Методика вимірювання часткових ємностей для об'єктів контролю із трьома електродами. Вісник Національного технічного університету “ХПІ” Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика. 2023. № 1. С. 67 – 70. <https://doi.org/10.20998/2079-3944.2023.1.11>

## Перелік опублікованих монографій:

1. Системи централізованого теплопостачання з інтеграцією відновлювальних джерел енергії: монографія. Арсеньєва, О.П. и Бабаєв, В.М. и Білецький, І.В. и Блінов, І.В. и Гранкіна, В.В. и Планковський, С.І. и Плюгін, В.Є. и Романова, Т.Є. и Старостіна, А.Ю. и Сухонос, М.К. и Телюра, Н.О. и Цегельник, Є.В. (2023). 217 С. Системи централізованого теплопостачання з інтеграцією відновлювальних джерел енергії: монографія. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. <https://doi.org/10.33042/978-966-695-594-7>
2. Plankovsky S., Romanova T., Pankratov A., Litvinchev I., Tsegelnyk Y., Shypul O., Vasant P. Human-Assisted Intelligent Computing: Modelling, Simulations and Applications / Sparse 2D packing in thermal deburring with shock waves acting effects. IOP Publishing, United Kingdom. 2023. P. 13-1–13-20. <https://doi.org/10.1088/978-0-7503-4801-0ch13>
3. Plankovsky S., Shypul O., Tsegelnyk Y., Brega D., Tryfonov O., & Malashenko V. (2022). Basic Principles for Thermoplastic Parts Finishing With Impulse Thermal Energy Method. In Handbook of Research on Advancements in the Processing, Characterization, and Application of Lightweight Materials (pp. 49-87). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-7864-3.ch003>
4. O.M. Petrenko, V.M. Shavkun, O.V. Donets, D.Y. Zubenko. Study of steady- state modes of a synchronous electric machine. ScientificWorld-NetAkhatAVLußstr, Karlsruhe, Germany,(2023), 104 p. <https://doi.org/10.30890/978-3-949059-85-8.2023>

**Перелік отриманих охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності України або інших країн (патенти, свідоцтва на право автора на твір):**

1. Патент на винахід №127056 G01F1/075 G01F1/58 Витратомір. Сухонос Марія Костянтинівна; Смирний Михайло Федорович. Патент опубліковано 29.03.2023, бюл. № 13/2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1728587/>
2. Патент на винахід № 125967. Спосіб теплової діагностики електричних машин. Шавкун В.М., Павленко Т.П. Петренко О. М., Лукашова Н. П. – 20.07.2022, бюл. № 29. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1698317/>
3. Патент на винахід № 127395 A23K10/26 B03C1/02 Електрична шнекова установка для виготовлення протеїнової кормової добавки з пухо-перової сировини. Заблодський М.М., Марченко О.А. 09.08.2023, бюл. № 32/2023 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1753477/>
4. Патент на винахід № 127612 B04B5/12 B02C13/14 B01J19/12 B01D61/56 C10L5/42 C05F3/06 Устаткування для виробництва палива і добрив з посліду птахів Заблодський М.М., Марченко О.А. 01.11.2023, бюл. № 44/2023 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1769130/> 5. Патент на корисну модель № 153901. Білецький І.В., Кульбашевська Т.В., Планковський С.І., Сергєєв В.Г. Спосіб вимірювання артеріального тиску та значення розтяжності артерій. 13.09.2023, бюл. № 37/2023. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1761230/>
6. Патент на корисну модель № 152939 C01B3/02 Спосіб приготування і спалювання водяного газу у потоці вуглеводно-водногазо-повітряної пальної суміші тривалого екологічно безпечного горіння у рідинно-паливних опалювальних засобах. Заблодський М.М., Андрієвський А.П., Антипов Є.О. 03.05.2023, бюл. № 18/2023 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1734934/>
7. Патент на корисну модель № 152938 C01B3/02 Спосіб приготування і тривалого екологічно безпечного горіння водяних газів у масиві пірогазо-водногазо-повітряної пальної суміші у твердопаливних опалювальних засобах. Заблодський М.М., Андрієвський А.П. 03.05.2023, бюл. № 18/2023 <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1734933/>

# Перелік виконавців

№ з/п	Прізвище, ім'я, науковий ступінь, вчене звання (особистий підпис, у разі необхідності)	Основне місце роботи або здобуття освіти	Зазначити вік та наявність статусу молодого вченого (на момент подання звіту)	Посада в рамках НДР (або договір ЦПХ) та роль (науковий керівник, відповідальний виконавець, виконавець, студент, аспірант тощо)	Основні завдання у виконання НДР (стисло зазначити функції)
1	Плюгін Владислав, д.т.н., професор	ХНУМГ ім. О.М. Бекетова	44 роки	г.н.с., науковий керівник	Розробка методики проектування комплексу з декількома модулями багатофункціонального перетворювача енергії
2	Петренко Олександр, д.т.н., доцент	ХНУМГ ім. О.М. Бекетова	49 років	г.н.с., відповідальний виконавець	Розробка другого модуля багатофункціонального перетворювача енергії, збирання агрегату, розробка технічної документації
3	Сухонос Марія, д.т.н., професор	ХНУМГ ім. О.М. Бекетова	42 роки	г.н.с., виконавець	Розробка системи автоматизованого управління двохмодульного агрегату
4	Цегельник Євген, к.т.н., доцент	ХНУМГ ім. О.М. Бекетова	44 роки	г.н.с., виконавець	Розробка програмного забезпечення з оптимального проектування багатофункціонального перетворювача енергії
5	Заблодський Микола, д.т.н., професор	Національний університет біоресурсів і природокористування України	71 рік	г.н.с., виконавець	Розробка методики експериментальних досліджень багатофункціонального перетворювача енергії
6	Тетерев Віталій, аспірант	ХНУМГ ім. О.М. Бекетова	24 роки, молодий вчений	мол.н.с., виконавець	Проведення експериментальних досліджень багатофункціонального перетворювача енергії

Проведені дослідження корисні для фахівців, що займаються дослідженнями і проектуванням спеціальних електромеханічних перетворювачів для енерго-ресурсозберігаючих технологій і фахівців в області електромеханіки, а також наукових співробітників та аспірантів. Результати досліджень може бути корисними для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».