

АНОТАЦІЯ

Кривий М. О. Вдосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу із врахуванням неньютонівської поведінки мастил.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 271 – «Морський та внутрішній водний транспорт» (галузь знань 27 – «Транспорт»). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2025.

Дисертаційне дослідження спрямоване на розв’язання важливого науково-практичного завдання – вдосконалення моніторингу і діагностики роботи сильнонавантажених рамових і шатунних підшипників ковзання суднової енергетичної установки, а також підшипників ковзання валів гребного гвинта і стерн, шляхом врахування неньютонівської поведінки мастил.

Об’єктом дослідження є гідродинамічні процеси при обертальному русі колінчатого валу та лінії валопроводу суднового пропульсивного комплексу.

Предметом дослідження процеси мащення елементів суднового пропульсивного комплексу.

Метою даного дисертаційного дослідження є удосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу за рахунок врахування неньютонівської поведінки мастил.

Головне завдання дисертаційного дослідження полягає в розробці нових алгоритмів і критеріїв моніторингу роботи сильно навантажених рамових і шатунних підшипників ковзання суднової енергетичної установки, а також лінії валопроводу та пов’язаних з нею упорних, опорних та дейдвудних підшипників, із урахуванням неньютонівської поведінки мастил, що забезпечують їх мащення.

Вирішення головного завдання даного дисертаційного дослідження зведено до розв’язання наступних допоміжних задач:

- 1) розв'язання граничної задачі, яка описує гідродинамічні процеси в підшипниках ковзання суднового пропульсивного комплексу із урахуванням неньютонівської поведінки мастил;
- 2) математичного моделювання роботи підшипника ковзання суднового пропульсивного комплексу із урахуванням неньютонівської поведінки мастил;
- 3) розробка математичних моделей інтегральних характеристик із оцінки стану підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, які враховують неньютонівську поведінку мастил;
- 4) розробка критеріїв моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, які враховують неньютонівську поведінку мастил.

Наукова новизна отриманих результатів даного дисертаційного дослідження полягає в тому, що забезпечення процесу моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу (зокрема, рамових і шатунних підшипників дизеля, опорних та упорних підшипників лінії валопроводу, дейдвудних підшипників гвинтів і стерн) досягнуто шляхом врахування неньютонівських властивостей мастил.

В роботі досягнуті наступні результати:

вперше:

- ❖ побудовані нові, зручні в застосуванні математичні моделі для інтегральних характеристик підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, які враховують неньютонівський характер поведінки мастил (зокрема, для коефіцієнтів навантаженості, спротиву обертанню, гідродинамічного тертя). До проведення досліджень існували, в основному, тільки табличні подання для інтегральних характеристик, які не враховували в'язкісні характеристики мастил;

- ❖ отримані нові математичні моделі для визначення границь робочої зони і кута максимального гідродинамічного тиску в підшипниках ковзання. До проведення досліджень існували, в основному, тільки табличні подання для вказаних кутів, що ускладнювало, або робило неможливим визначення максимального тиску в робочій зоні підшипника ковзання;
- ❖ запропоновані нові критерії і методику до моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, які базуються на врахуванні неньютонівських властивостей мастил, зокрема, градієнті в'язкості. До проведення досліджень існували, в основному, критерії, які не враховували неньютонівські властивості мастил;

удосконалено:

- ❖ математичну модель роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу із урахуванням неньютонівської поведінки мастил;
- ❖ розв'язання граничних задач, які описують гідродинамічні процеси в підшипниках ковзання суднового пропульсивного комплексу і враховують неньютонівську поведінку мастил;

знайшло подальший розвиток:

- ❖ методика використання критерію Зоммерфельда для визначення рідинного режиму роботи підшипників ковзання;
- ❖ методика до моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу.

Наукова гіпотеза про можливість вдосконалення моніторингу роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу за рахунок врахування неньютонівської поведінки мастил підтверджена теоретичними та експериментальними результатами.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що результати досліджень впроваджені при розробці алгоритмів процесу моніторингу

підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу. Крім того, отримані результати можуть бути корисними для подальших наукових досліджень і розробок в цій галузі. Отримані наукові результати зумовлюють його наукове положення, яким є: застосування нових критеріїв роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу, із урахуванням неньютонівських властивостей мастил, може бути застосовано з метою ефективності і зменшення ризиків виникнення аварійних ситуацій при роботі суднового пропульсивного комплексу.

Результати даного дисертаційного дослідження впроваджені:

- ❖ під час експлуатації т/х “Aquavita evolution”;
- ❖ під час експлуатації т/х “Roberta” класу Bulk Carrier дедвейтом 37620 тонн;
- ❖ в освітньому процесі Національного університету «Одеська морська академія», зокрема:
 - гідродинамічні процеси в мастильному шарі рамових і шатунних важко навантажених підшипників ковзання, із врахуванням неньютонівської поведінки мастил – під час викладання освітнього компонента «Суднові двигуни внутрішнього згорання» (для здобувачів наукового ступеня бакалавр);
 - технологія забезпечення рідинних режимів мащення в підшипниках ковзання суднових енергетичних установок, які враховують градієнт в'язкості мастил – під час викладання освітнього компонента «Процеси перетворення енергії суднових силових установок» (для здобувачів наукового ступеня магістр);
 - технологія визначення і врахування неньютонівських характеристик суднових моторних мастил – під час викладання освітнього компонента «Дослідницький практикум» (для здобувачів наукового ступеня доктор філософії).

Ключові слова: підшипник ковзання, мастильний шар, суднові енергетичні установки, судновий пропульсивний комплекс, головні двигуни, допоміжні двигуни, моніторинг робочого процесу, критерії роботи підшипників ковзання, моторне мастило, неньютонівські властивості мастил, градієнт в'язкості мастил, рівняння Рейнольдса, математичні моделі, інтегральні показники, коефіцієнт навантаженості, коефіцієнт спротиву обертання, коефіцієнт гідродинамічного тертя, характерні кути, процес мащення, система мащення, судновий дизель, морський транспорт.

Список опублікованих праці за темою дисертації.

Статті в наукових фахових виданнях України (категорії Б), що входять до переліку наукових фахових видань України:

1. Сагін, С.В.; Кривий, М.О. Визначення розподілу тиску в шарі неньютонівських мастил у судових енергетичних установках. *Вісник ОНМУ*. **2020**, 2(62), 160-170. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-2-160-170>.
2. Сагін, С.В.; Кривий, М.О. Розрахунок контактного тиску та зони контакту в парах ковзання судових дизелів. *Автоматизація судових технічних засобів: наук. - техн. зб.* Одеса: НУ "ОМА". **2021**, 27. 84 – 92. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-84-92.
3. Кривий, О.Ф.; Міусов, М.В.; Кривий, М.О. Математичне моделювання роботи судових гвинтів при різних режимах маневрування. *Судноводіння*. **2021**, 32, 71-87. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.71-87.
4. Кривий, М.О.; Сагін, С.В. Визначення впливу властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання судових дизелів. *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. Одеса: НУ «ОМА». **2021**, 43, 18-24. doi: 10.31653/smf43.2021.18-24.

5. Кривий, О. Ф.; Міусов М. В., Кривий М. О. Математичне моделювання роботи суднових стерн при різних режимах маневрування. *Судноводіння*. **2023**, 34, 93-114. DOI: 10.31653/2306-5761.34.2023.93-114.

6. Кривий, М. О. Визначення характерних кутів пар ковзання суднових енергетичних установок. *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. Одеса: НУ «ОМА». **2023**, 47, 32-45. DOI: 10.31653/smf47.2023. 32-45.

7. Кривий О.Ф., Міусов М. В., Кривий М. О., Нові математичні моделі коефіцієнту упору і коефіцієнту моменту на валу гребного гвинта судна. *Судноводіння*. **2023**, 35, 60-75. DOI: 10.31653/2306-5761.35.2023.60-75.

8. Кривий М. О. Вдосконалення критеріїв для визначення режимів роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу. *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. Одеса: НУ «ОМА». **2024**, 49, 54 – 68. DOI: 10.31653/smf49.2024. 54-68.

Статті в іноземних виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science:

9. Kryvyi, O.; Miyusov M.; Kryvyi M. Construction and Analysis of New Mathematical Models of the Operation of Ship Propellers in Different Maneuvering Modes. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. **2023**, 17 (1), 95-102. doi:10.12716/1001.17.01.09.

10. Kryvyi, O.; Miyusov, M. V.; Kryvyi, M. Analysis of Known and Construction of New Mathematical Models of Forces on a Ship's Rudder in an Unbounded Flow. Analysis. *Trans Nav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. **2023**, 17(4), 831-839. DOI:10.12716/1001.17.04.09.

11. Kryvyi, O.; Miyusov, M. V.; Kryvyi, M. New mathematical models for the load factor of slip pairs in the ship propulsion system for non-Newtonian lubricants. *Pomorstvo*. **2024**, 38(1), 114–125. <https://doi.org/10.31217/p.38.1.9>.

Статті у збірках матеріалів міжнародних наукових конференцій

12. Кривий, М. О. Особливості реології моторних мастил при забезпеченні режимів змащення пар тертя суднових малообертових дизелів. *Матер. наук.-техн. конференції «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт»*, Частина 1. Одеса: НУ «ОМА». **2017**, с. 31 - 34.

13. Кривий, М. О. Забезпечення режимів мащення підшипникових вузлів малообертових дизелів при режимах пуску і реверсу. *Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: Національний університет кораблебудування, **2017**, с. 74 - 78.

14. Кривий, М. О. Дослідження явищ стратифікації в'язкості моторного мастила в вузлах тертя суднових дизелів. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції MINTT-2018*, – Херсон : Херсонська державна морська академія. **2018**, с. 321 - 324. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/Матеріали_MINTT_2018.pdf.

15. Кривий, М. О.; Сагін, С. В. Математична модель мастильного шару в парах ковзання в суднових енергетичних установках. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»* Одеса, НУ «ОМА». **2019**, с. 144 – 148. [dx.doi.org/10.31653/2706-7874](https://doi.org/10.31653/2706-7874).

16. Кривий, М. О.; Сагін, С. В. Визначення максимального контактного тиску в парах ковзання суднових енергетичних установок. *Матеріали XI міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, Одеса: НУ «ОМА», **2021**. – с. 79-83. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2021.11.1-238.

17. Сагін, С. В.; Кривий, М. О. Вплив властивостей мастил на розподілу тиску в парах ковзання в суднових енергетичних установках. *Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту»*, Харків-Миргород. **2021**, 89-90. http://ptzt.kart.edu.ua/images/filePTZT/PTZT_2021.pdf.

18. Кривий О. Ф.; Міюсов, М. В.; Кривий М. О. Вплив зміни фазових координат руху судна на характеристики роботи гребного гвинта. *Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, Одеса: НУ «ОМА», **2022**, с.40-43. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2022.11.1-203.

19. Кривий М. О. Математичні моделі мастильного шару в парах ковзання суднових енергетичних установок. *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, Одеса: НУ ОМА, **2023**, с.118-121. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>.

20. Кривий О.Ф.; Міюсов, М. В.; Кривий, М. О. Математичні моделі коефіцієнта корисної дії суднових гвинтів. *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, – Одеса: НУ ОМА, **2023**, с.126-129 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>.

21. Кривий М. О. Критерій застосовності неньютонівських мастил в підшипниках ковзання суднових енергетичних установках. *Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, **2024**. – С.75-78 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>.

З наукових праць, що опубліковані у співавторстві, використано виключно ті результати, що належать автору особисто, зокрема: [1], [2], [4], [15] – розв’язання відповідних математичних моделей, визначення гідродинамічного і контактного тиску, визначення впливу властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання, аналіз отриманих результатів; [3], [5], [7]– визначення моментів і сил в підшипниках ковзання гвинтових і стернових валів, аналіз отриманих результатів; [9], [10], [20] – математичне моделювання та визначення моментів і сил в сильно навантажених підшипниках ковзання гвинтових і стернових валів, аналіз отриманих результатів; [11], [16], [17] – побудова і розв’язання рівняння Рейнольдса,

визначення розподілу диску в підшипнику ковзання, побудова і валідація нових математичних моделей інтегральних характеристик, отримання нових критеріїв режимів роботи підшипників ковзання; [18], [20] – математичне моделювання процесів в підшипниках ковзання гвинтових і стернових валів, визначення коефіцієнтів корисної дії, аналіз отриманих результатів

ABSTRACT

Kryvyi M. O. *Improvement of Monitoring of Sliding Bearings in Marine Propulsion Systems Considering the Non-Newtonian Behavior of Lubricants*

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 271 – "Maritime and Inland Water Transport" (field of knowledge 27 – "Transport"). – National University "Odessa Maritime Academy", Odesa, 2025.

This dissertation research is aimed at solving an important scientific and practical task – the improvement of monitoring and diagnostics of the operation of heavily loaded main and connecting rod sliding bearings in marine power plants, as well as the sliding bearings of propeller shafts and stern tubes, by considering the non-Newtonian behavior of lubricants.

The object of the research is hydrodynamic processes during the rotational motion of the crankshaft and shaft line of a marine propulsion system.

The subject of the research is the lubrication processes of the elements in the marine propulsion system.

The aim of this dissertation is to improve the monitoring of sliding bearing performance in marine propulsion systems by accounting for the non-Newtonian behavior of lubricants.

The main task of the dissertation is the development of new algorithms and criteria for monitoring the performance of heavily loaded main and connecting rod sliding bearings in marine power plants, as well as the shaft line and its associated thrust, support,

and stern tube bearings, taking into account the non-Newtonian behavior of lubricants used for their lubrication.

To achieve the main task, the following auxiliary objectives were addressed:

1. Solving the boundary problem describing hydrodynamic processes in the sliding bearings of the marine propulsion system, taking into account the non-Newtonian behavior of lubricants;
2. Mathematical modeling of the operation of sliding bearings in the marine propulsion system, considering the non-Newtonian behavior of lubricants;
3. Development of mathematical models for integral characteristics used to assess the condition of sliding bearings in the marine propulsion system, which incorporate the non-Newtonian behavior of lubricants;
4. Development of monitoring criteria for the operation of sliding bearings in the marine propulsion system, considering the non-Newtonian behavior of lubricants.

Scientific novelty of the obtained results lies in the implementation of non-Newtonian lubricant properties into the monitoring processes of sliding bearings in marine propulsion systems (in particular, main and connecting rod bearings of diesel engines, support and thrust bearings of the shaft line, and stern tube bearings of propellers and rudders).

For the first time:

- New, easy-to-use mathematical models have been developed for the integral characteristics of sliding bearings in marine propulsion systems, which consider the non-Newtonian behavior of lubricants (specifically for load factor, rotational resistance, and hydrodynamic friction coefficients). Prior to this research, such characteristics were mainly available only in tabular form and did not account for lubricant viscosity properties;
- New mathematical models were developed to determine the limits of the working area and the angle of maximum hydrodynamic pressure in sliding bearings.

Previously, these values were also presented only in tabular form, complicating or preventing accurate determination of maximum pressure zones;

- New criteria and a methodology for monitoring the operation of sliding bearings in marine propulsion systems were proposed, based on the consideration of non-Newtonian lubricant properties, particularly viscosity gradients. Before this research, existing criteria did not account for such properties.

Improved:

- Mathematical models for the operation of sliding bearings in marine propulsion systems considering the non-Newtonian behavior of lubricants;
- Solutions to boundary problems describing hydrodynamic processes in sliding bearings, incorporating the non-Newtonian behavior of lubricants.

Further developed:

- The use of the Sommerfeld criterion to determine fluid lubrication regimes in sliding bearings;
- The methodology for monitoring sliding bearings in marine propulsion systems.

The scientific hypothesis regarding the possibility of improving monitoring of sliding bearing performance in marine propulsion systems by considering the non-Newtonian behavior of lubricants was confirmed through theoretical and experimental results.

Practical significance of the obtained results lies in their implementation during the development of monitoring algorithms for sliding bearings in marine propulsion systems. Moreover, these results can be valuable for further research and development in this field. The scientific findings support the following thesis: the application of new performance criteria for sliding bearings, taking into account the non-Newtonian properties of lubricants, can enhance efficiency and reduce the risk of emergency situations in the operation of marine propulsion systems.

The results of this dissertation have been implemented:

- During the operation of m/v “*Aquavita Evolution*”;

- During the operation of m/v “*Roberta*”, a Bulk Carrier with 37,620 tons deadweight;
- In the educational process of the National University "Odessa Maritime Academy", particularly:
- Hydrodynamic processes in the lubricating layer of heavily loaded main and connecting rod sliding bearings, considering the non-Newtonian behavior of lubricants – in the educational component "*Marine Internal Combustion Engines*" (Bachelor's level);
- Technology for ensuring fluid lubrication regimes in sliding bearings of marine power plants, considering lubricant viscosity gradients – in the course "*Energy Conversion Processes in Marine Power Plants*" (Master's level);
- Technology for identifying and considering non-Newtonian characteristics of marine engine oils – in the course "*Research Workshop*" (PhD level).

Keywords: sliding bearing, lubricating layer, marine power plants, marine propulsion system, main engines, auxiliary engines, operation monitoring, sliding bearing performance criteria, engine oil, non-Newtonian lubricant properties, viscosity gradient, Reynolds equation, mathematical models, integral characteristics, load factor, rotational resistance coefficient, hydrodynamic friction coefficient, characteristic angles, lubrication process, lubrication system, marine diesel engine, maritime transport.

List of Publications

Articles in Ukrainian scientific journals (category B) included in the List of Scientific Professional Editions of Ukraine:

1. Сагін, С.В.; Кривий, М.О. Визначення розподілу тиску в шарі неньютонівських мастил у судових енергетичних установках. *Вісник ОНМУ*. **2020**, 2(62), 160-170. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-2-160-170>.
2. Сагін, С. В.; Кривий, М. О. Розрахунок контактної тиску та зони контакту в парах ковзання судових дизелів. *Автоматизація судових технічних засобів: наук. -*

техн. зб. Одеса: НУ "ОМА". **2021**, 27. 84 – 92. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-84-92.

3. Кривий, О.Ф.; Міюсов, М.В.; Кривий, М.О. Математичне моделювання роботи суднових гвинтів при різних режимах маневрування. *Судноводіння*. **2021**, 32, 71-87. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.71-87.

4. Кривий, М.О.; Сагін, С.В. Визначення впливу властивостей моторних мастил на розподіл тиску в парах ковзання суднових дизелів. *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. Одеса: НУ «ОМА». **2021**, 43, 18-24. doi: 10.31653/smf43.2021.18-24.

5. Кривий, О.Ф.; Міюсов, М.В., Кривий, М.О. Математичне моделювання роботи суднових стерн при різних режимах маневрування. *Судноводіння*. **2023**, 34, 93-114. DOI: 10.31653/2306-5761.34.2023.93-114.

6. Кривий, М.О. Визначення характерних кутів пар ковзання суднових енергетичних установок. *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. Одеса: НУ «ОМА». **2023**, 47, 32-45. DOI: 10.31653/smf47.2023. 32-45.

7. Кривий О.Ф., Міюсов М.В., Кривий М.О. Нові математичні моделі коефіцієнту упору і коефіцієнту моменту на валу гребного гвинта судна. *Судноводіння*. **2023**, 35, 60-75. DOI: 10.31653/2306-5761.35.2023.60-75.

8. Кривий М.О. Вдосконалення критеріїв для визначення режимів роботи підшипників ковзання суднового пропульсивного комплексу. *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. Одеса: НУ «ОМА». **2024**, 49, 54 – 68. DOI: 10.31653/smf49.2024. 54-68.

Articles in international journals indexed in Scopus and Web of Science international scient metric databases:

9. Kryvyi, O.; Miyusov M.; Kryvyi M. Construction and Analysis of New Mathematical Models of the Operation of Ship Propellers in Different Maneuvering Modes. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. **2023**, 17 (1), 95-102. doi:10.12716/1001.17.01.09.

10. Kryvyi, O.; Miyusov, M. V.; Kryvyi, M. Analysis of Known and Construction of New Mathematical Models of Forces on a Ship's Rudder in an Unbounded Flow. Analysis. *Trans Nav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. **2023**, 17(4), 831-839. DOI:10.12716/1001.17.04.09.

11. Kryvyi, O.; Miyusov, M. V.; Kryvyi, M. New mathematical models for the load factor of slip pairs in the ship propulsion system for non-Newtonian lubricants. *Pomorstvo*. **2024**, 38(1), 114–125. <https://doi.org/10.31217/p.38.1.9>

Articles in Collections of Proceedings of International Scientific Conferences

12. Кривий, М. О. Особливості реології моторних мастил при забезпеченні режимів змащення пар тертя суднових малообертових дизелів. *Матер. наук.-техн. конференції «Річковий та морський флот: експлуатація і ремонт»*, Частина 1. Одеса: НУ «ОМА». **2017**, с. 31 - 34.

13. Кривий, М. О. Забезпечення режимів мащення підшипникових вузлів малообертових дизелів при режимах пуску і реверсу. *Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: Національний університет кораблебудування, **2017**, с. 74 - 78.

14. Кривий, М. О. Дослідження явищ стратифікації в'язкості моторного мастила в вузлах тертя суднових дизелів. *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції MINTT-2018*,— Херсон : Херсонська державна морська академія. **2018**, с. 321 - 324. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/Матеріали_MINTT_2018.pdf.

15. Кривий, М. О.; Сагін, С. В. Математична модель мастильного шару в парах ковзання в суднових енергетичних установках. *Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»* Одеса, НУ «ОМА». **2019**, с. 144 – 148. [dx.doi.org/10.31653/2706-7874](https://doi.org/10.31653/2706-7874).

16. Кривий, М. О.; Сагін, С. В. Визначення максимального контактного тиску в парах ковзання суднових енергетичних установок. *Матеріали XI міжнародної*

науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика», Одеса: НУ «ОМА», **2021**. – с. 79-83. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2021.11.1-238.

17. Сагін, С. В.; Кривий, М. О. Вплив властивостей мастил на розподілу тиску в парах ковзання в суднових енергетичних установках. *Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції «Прогресивні технології засобів транспорту»*, Харків-Миргород. **2021**, 89-90. http://ptzt.kart.edu.ua/images/filePTZT/PTZT_2021.pdf.

18. Кривий О. Ф.; Міюсов, М. В.; Кривий М. О. Вплив зміни фазових координат руху судна на характеристики роботи гребного гвинта. *Матеріали XII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, Одеса: НУ «ОМА», **2022**, с.40-43. DOI:10.31653/2706-7874.SEEEA-2022.11.1-203.

19. Кривий М. О. Математичні моделі мастильного шару в парах ковзання суднових енергетичних установок. *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, Одеса: НУ ОМА, **2023**, с.118-121. <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>.

20. Кривий О.Ф.; Міюсов, М. В.; Кривий, М. О. Математичні моделі коефіцієнта корисної дії суднових гвинтів. *Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, – Одеса: НУ ОМА, **2023**, с.126-129 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2023.22.11.23.pdf>.

21. Кривий М. О. Критерій застосовності неньютонівських мастил в підшипниках ковзання суднових енергетичних установках. *Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика»*, 19.11.2024 - 20.11.2024. – Одеса: НУ ОМА, **2024**. – С.75-78 <http://femire.onma.edu.ua/docs/conf/SEEEA-2024.19.11.24.pdf>.

From the co-authored scientific works, only the results that belong personally to the author were used, in particular: [1], [2], [4], [15] – solving the corresponding mathematical models, determining hydrodynamic and contact pressure, identifying the influence of engine oil properties on pressure distribution in sliding pairs, and analyzing the obtained results; [3], [5], [7] – determining moments and forces in the sliding bearings of propeller and rudder shafts, and analyzing the obtained results; [9], [10], [20] – mathematical modeling and determination of moments and forces in heavily loaded sliding bearings of propeller and rudder shafts, and analysis of the obtained results; [11], [16], [17] – formulation and solution of the Reynolds equation, determination of pressure distribution in sliding bearings, development and validation of new mathematical models of integral characteristics, and derivation of new criteria for operating regimes of sliding bearings; [18], [20] – mathematical modeling of processes in sliding bearings of propeller and rudder shafts, determination of efficiency coefficients, and analysis of the obtained results.