

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН-КОНТЕЙНЕРОВОЗІВ ПІД ЧАС ТРАНСОКЕАНСЬКИХ ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ АДАПТИВНОЇ КОРЕКЦІЇ КУРСУ

Проведено аналіз особливостей експлуатації контейнеровозів під час трансокеанських переходів в умовах впливу змінних гідрометеорологічних факторів. Встановлено, що однією з ключових причин зниження ефективності експлуатації є відхилення судна від заданої траєкторії руху під впливом вітру, течій та хвиль, що призводить до збільшення витрат палива, тривалості рейсу та підвищення навігаційних ризиків. Показано, що традиційні методи утримання курсу, які базуються на періодичній корекції, не забезпечують необхідного рівня адаптивності в умовах невизначеності та динамічної зміни зовнішнього середовища. Обґрунтовано доцільність переходу до проактивних підходів управління рухом судна, які базуються на інтеграції сучасних навігаційних систем із зовнішніми джерелами даних. У роботі запропоновано метод адаптивної корекції курсу контейнеровоза, який передбачає безперервний аналіз навігаційної ситуації з використанням даних глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), електронних картографічних систем (ECDIS), а також інформації з погодних та океанографічних сервісів. Особливу увагу приділено використанню даних міжнародних центрів прогнозування, зокрема ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) та NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), що дозволяє враховувати прогнози зміни зовнішніх умов у процесі управління рухом судна. Запропонований підхід доповнено використанням методів інтелектуального аналізу даних для виявлення закономірностей впливу зовнішніх факторів на відхилення судна від маршруту та оптимізації параметрів руху. Розроблено концепцію адаптивного коригування курсу, яка забезпечує мінімізацію відхилення від заданої траєкторії з урахуванням енергетичної ефективності руху. Показано, що впровадження адаптивної корекції курсу є особливо актуальним в умовах зростання світових цін на паливо та посилення екологічних вимог, зокрема в межах зон контролю викидів (ECA), де оптимізація маршруту дозволяє зменшити витрати на експлуатацію та забезпечити відповідність міжнародним стандартам.

Отримані результати підтверджують доцільність інтеграції адаптивних алгоритмів управління в сучасні навігаційні системи та системи підтримки прийняття рішень судноводія, що забезпечує підвищення точності руху судна, зниження витрат палива, покращення економічних показників експлуатації та підвищення рівня безпеки судноплавства.

**Ключові слова:** адаптивна корекція курсу, безпека судноплавства, ефективність експлуатації, зовнішні збурення, морський транспорт, навігація, судно-контейнеровоз, траєкторія руху, ECDIS, GNSS.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Морський та внутрішній водний транспорт відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування світової логістичної системи та забезпечує стабільність глобальних логістичних процесів, при цьому значна частка вантажоперевезень здійснюється контейнеровозами на трансокеанських маршрутах. Зі збільшенням розмірів суден та інтенсифікацією перевезень зростають вимоги до ефективності їх експлуатації, що безпосередньо пов'язано з точністю дотримання заданої траєкторії руху.

У процесі трансокеанських переходів судно постійно піддається впливу зовнішніх факторів, таких як вітер, течії та хвилювання, що призводить до відхилення від курсу та необхідності його

корекції [1-3]. Традиційні методи управління рухом не забезпечують достатнього рівня адаптивності до змінних умов, що негативно впливає на витрати палива, тривалість рейсу та рівень безпеки [4-6].

Таким чином, актуальним є завдання розробки методів адаптивної корекції курсу, які дозволяють підвищити ефективність експлуатації суден-контейнеровозів в умовах невизначеностей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні дослідження в галузі судноводіння та управління рухом морських суден спрямовані на підвищення точності навігації, ефективності експлуатації та безпеки судноплавства. Водночас, значна увага приділяється розвитку цифрових навігаційних технологій, інтегрованих інформаційних систем та алгоритмів оптимального управління, які забезпечують більш точне визначення параметрів руху судна та підтримку прийняття рішень судноводієм [7-9].

У наукових публікаціях широко розглядаються методи утримання курсу, що базуються на класичних підходах автоматичного регулювання, зокрема використання пропорційно-інтегрально-диференційних принципів керування, а також на методах оптимального управління, спрямованих на мінімізацію відхилення судна від заданої траєкторії. Окремий напрям досліджень пов'язаний із розробкою алгоритмів планування маршруту та оптимізації траєкторії руху суден з урахуванням обмежень навігаційного середовища. Значна частина досліджень присвячена врахуванню впливу зовнішніх збурень, таких як вітер, течії та хвильові процеси [10-12]. У межах цих робіт розробляються математичні моделі руху суден, що дозволяють оцінювати вплив гідродинамічних та метеорологічних факторів на курсову стійкість і точність руху [13-15]. Також досліджуються методи прогнозування траєкторій, які базуються на статистичних та аналітичних підходах [16-18].

Окрему групу становлять дослідження, присвячені оптимізації маршрутів суден з урахуванням погодних умов. Такі підходи дозволяють формувати більш ефективні траєкторії руху, що мінімізують вплив несприятливих факторів та сприяють зниженню витрат палива. Проте у більшості випадків ці рішення застосовуються на етапі попереднього планування рейсу та не передбачають динамічної корекції маршруту в процесі руху судна [19-21]. У сучасних наукових роботах також спостерігається тенденція до використання методів інтелектуального аналізу даних, які дозволяють обробляти великі обсяги інформації та виявляти закономірності впливу зовнішніх факторів на рух судна [22-24]. Це створює передумови для формування більш гнучких підходів до управління, орієнтованих на адаптацію до змінних умов експлуатації.

Разом з тим, проведений аналіз показує, що більшість існуючих рішень орієнтовані на умови відносної стабільності зовнішнього середовища або мають дискретний характер прийняття рішень. У випадку трансокеанських переходів, де вплив гідрометеорологічних факторів має виражений динамічний характер, такі підходи виявляються недостатньо ефективними. Крім того, недостатньо розробленими залишаються питання безперервної адаптації параметрів руху судна з урахуванням прогнозованих змін зовнішніх умов, а також інтеграції різнорідних джерел інформації в єдину систему підтримки прийняття рішень. Це свідчить про наявність нерозв'язаного науково-практичного завдання, що зумовлює необхідність розробки адаптивних методів управління рухом суден.

Наведений аналіз свідчить, що актуальним є створення підходів, які поєднують між собою аналіз навігаційної інформації, прогнозування зовнішніх впливів та адаптивну корекцію курсу. Саме це дозволить підвищити ефективність експлуатації суден-контейнеровозів, знизити витрати палива та забезпечити належний рівень безпеки судноплавства.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка науково обґрунтованого методу підвищення ефективності експлуатації суден-контейнеровозів під час трансокеанських переходів на основі адаптивної корекції курсу з урахуванням впливу гідрометеорологічних факторів та невизначеностей зовнішнього середовища.

**Виклад основного матеріалу.** Функціонування сучасних морських портів в умовах зростаючої інтенсивності міжнародних вантажопотоків вимагає від адміністрацій та операторів забезпечення безперервного і безпечного судноплавства. Ефективність експлуатації суден-

контейнеровозів під час трансокеанських переходів визначається сукупністю технічних, навігаційних та економічних факторів, серед яких важливу роль відіграє здатність судна дотримуватись оптимальної траєкторії руху в умовах змінного зовнішнього середовища. У сучасних умовах інтенсифікації морських перевезень навіть незначні відхилення від запланованого маршруту можуть призводити до суттєвих економічних втрат, пов'язаних зі збільшенням витрат палива, тривалості рейсу та зниженням загальної ефективності експлуатації судна [25-27].

Однією з особливостей суден-контейнеровозів є значна площа надводної частини, яка формує підвищену чутливість до впливу вітрового навантаження. У поєднанні з океанічними течіями та хвильовими процесами це призводить до систематичного відхилення судна від заданого курсу. Традиційні підходи до управління рухом базуються на періодичній корекції курсу за результатами оцінки фактичного положення судна, що має реактивний характер і не дозволяє ефективно враховувати динамічні зміни зовнішніх умов [28-30]. У сучасній практиці судноводіння відбувається перехід до проактивних підходів управління, що базуються на інтеграції навігаційних систем із глобальними джерелами даних та використанні інтелектуального аналізу інформації. До таких джерел належать погодні та океанографічні сервіси, зокрема European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), Європейський центр середньострокових прогнозів погоди, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) та Національне управління океанічних і атмосферних досліджень США. Використання цих сервісів дозволяє отримувати високоточні прогнози вітру, хвиль і течій та враховувати їх у процесі управління рухом судна. Інтеграція навігаційних систем (GNSS, ECDIS, AIS) з погодними сервісами формує єдине інформаційне середовище, у якому здійснюється безперервний аналіз поточного положення судна, параметрів його руху та впливу на нього зовнішніх факторів [31-33]. Це створює передумови для реалізації адаптивної корекції курсу, яка передбачає не періодичне, а безперервне уточнення траєкторії руху з урахуванням прогнозованих змін навігаційної обстановки.

Сутність адаптивної корекції курсу полягає у переході від реактивного управління до прогнозно-орієнтованого, коли рішення щодо зміни курсу приймаються не після виникнення значного відхилення, а на основі аналізу тенденцій його формування. Такий підхід дозволяє мінімізувати амплітуду відхилень, зменшити кількість маневрів та забезпечити більш стабільний режим руху судна. Визначальним елементом реалізації цього підходу є використання методів інтелектуального аналізу даних, які дозволяють обробляти великі обсяги інформації, отриманої з різних джерел, та виявляти приховані закономірності впливу зовнішніх факторів на рух судна. На основі статистичних даних рейсів, метеорологічних умов та експлуатаційних параметрів можуть формуватися адаптивні моделі, здатні прогнозувати поведінку судна-контейнеровозу та оптимізувати параметри його руху.

Особливого значення цей підхід набуває в умовах нестабільної динаміки світових цін на нафту та бункерне паливо [34, 35]. У сучасних економічних умовах витрати на паливо становлять значну частину експлуатаційних витрат судноплавних компаній, що робить питання їх мінімізації критично важливим для забезпечення конкурентоспроможності перевезень. Адаптація курсу судна з урахуванням погодних умов та океанографічних факторів дозволяє уникати зон із підвищеним опором руху, оптимізувати швидкісний режим та, як наслідок, зменшувати витрати палива [36, 37].

Таким чином, адаптивна корекція курсу виступає не лише як інструмент підвищення безпеки судноплавства, але також й як ефективний механізм оптимізації комерційної складової експлуатації контейнеровозів.

Практична реалізація запропонованого підходу передбачає інтеграцію алгоритмів адаптивного управління у системи підтримки прийняття рішень судноводія. Такі системи можуть функціонувати у вигляді модулів, інтегрованих у ECDIS або окремих програмних комплексів, що аналізують дані в режимі реального часу та формують рекомендації щодо зміни курсу або корекції маршруту. Додатковим напрямом розвитку є використання концепції цифрового двійника судна, що дозволяє створити віртуальну модель руху контейнеровоза з урахуванням його індивідуальних характеристик та зовнішніх умов. Це дає можливість моделювати різні сценарії руху та обирати оптимальний варіант ще до фактичної зміни курсу.

На рис. 1 наведено приклад вибору адаптивного маршруту з урахуванням гідрометеорологічних умов на момент виходу судна з порту Наурпойнт до порту призначення Hong Kong. Запропонована система здійснює прогнозування сумарних експлуатаційних витрат залежно від обраного маршруту з урахуванням впливу погодних факторів, зокрема вітру, хвиль та течій. З наведеного прикладу можна зробити висновок, що найкоротший маршрут (позначений синім кольором) не є найбільш економічно доцільним, незважаючи на те, що його довжина є меншою більш ніж на 150 морських миль порівняно з альтернативними варіантами. Це пояснюється значним впливом несприятливих погодних умов на окремих ділянках маршруту, що призводить до збільшення витрат палива та зниження ефективності руху судна. Запропонована система виконує аналіз погодних умов у короткостроковому часовому інтервалі та оцінює їхній вплив на параметри руху судна. На основі цього формується адаптивний маршрут, який забезпечує більш економічний та безпечний перехід, навіть за умови збільшення загальної довжини шляху. Порівняння економічного впливу обраних маршрутів наведено на рис. 2, де представлено оцінку витрат палива та експлуатаційних показників залежно від траєкторії руху судна.

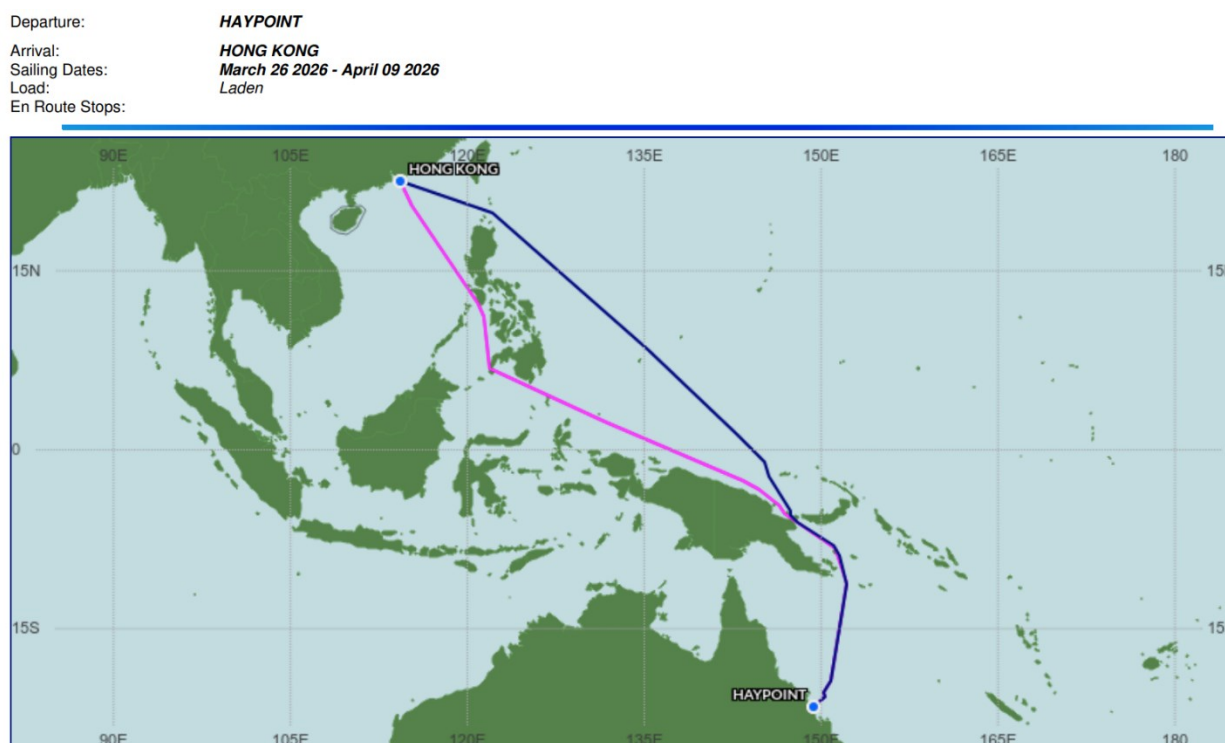


Рисунок 1 – Прогнозування адаптивного маршруту судна за напрямком Наурпойнт - Hong Kong

Voyage Estimates									
Route Comparison <small>Calculations are based on straight CP TERMS. Speed and Cons allowances are not included.</small>	Distance (NM)	Time (HRS) Days	ETA (UTC)		Consumption			ECA Time Dist	
			AvgSpd Wx/Cur Factor (kt)		FO (MT)	DO (MT)			
			TOTAL	ME		AUX			
●●● Actual Route CP Spd: 11.80kt CP Cons: 26.00 FO / 0.05 DO	3,748.2	323.7 13.5	09 Apr 09:44 11.58 -0.10 / 0.11		332.4	0.6	0.0	0.6	0.0 0.0
●●● Master's Intended Route CP Spd: 11.80kt CP Cons: 26.00 FO / 0.05 DO	3,882.3	337.3 14.1	09 Apr 23:21 11.51 -0.10 / 0.03		347.1	0.7	0.0	0.7	0.0 0.0

Cost Summary	Total Voyage Cost	Hire Cost	Fuel Cost				Emission CO2 (MT)	CII Rating Scale : Score
			FO (USD)	DO (USD)				
				TOTAL	ME	AUX		
●●● Act Route 11.80kt	\$529,106	\$215,814	\$312,280	\$1,012	\$0	\$1,012	1,037.1	B : 0.91
●●● Alt Route 11.80kt	\$552,075	\$224,888	\$326,129	\$1,059	\$0	\$1,059	1,083.1	B : 0.92

Cost Assumptions

- Sailing Time Cost 16000.08 USD per day ( 667 USD per hour)
- FO Cost 940 USD per metric ton
- DO Cost 1581 USD per metric ton

Рисунок 2 – Порівняння економічного впливу обраних маршрутів Наурпойнт - Hong Kong

Подібний підхід до аналізу маршрутів дозволяє наочно продемонструвати переваги адаптивного управління, зокрема зменшення відхилення від заданого курсу, скорочення часу переходу та оптимізацію витрат палива.

На рис. 3 наведено приклад вибору адаптивного маршруту з урахуванням гідрометеорологічних умов та обмежень, пов'язаних із плаванням у зонах контролю викидів (ЕСА), на переході з порту New Orleans до порту призначення Norfolk. Запропонована система здійснює прогнозування сумарних експлуатаційних витрат залежно від обраного маршруту з урахуванням впливу погодних факторів, а також підвищених витрат, пов'язаних із використанням низькосірчистого палива в межах ЕСА-зон.

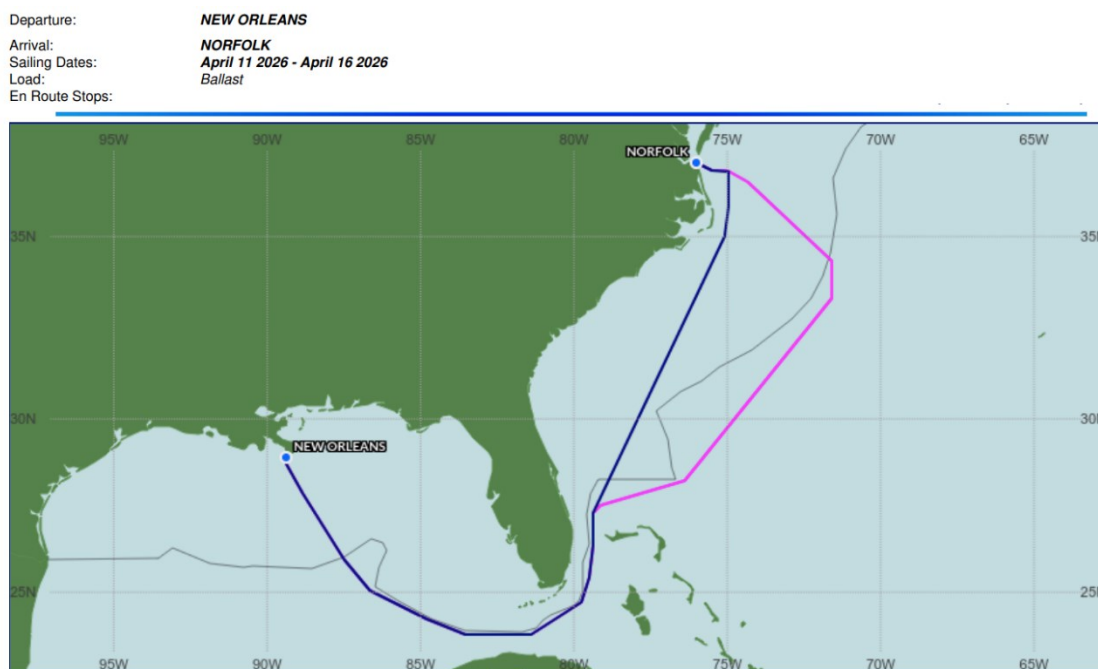


Рисунок 3 – Прогнозування адаптивного маршруту судна за напрямком New Orleans - Norfolk

Порівняння економічного впливу різних варіантів маршруту наведено на рис. 4, де представлено оцінку витрат палива та ключових експлуатаційних показників залежно від траєкторії руху судна. Аналіз наведених даних підтверджує, що вибір маршруту з урахуванням зон екологічного контролю та погодних умов дозволяє забезпечити більш економічно доцільний та безпечний режим експлуатації судна.

Voyage Estimates								
Route Comparison <small>Calculations are based on straight CP TERMS. Speed and Cons allowances are not included.</small>	Distance (NM)	Time (HRS) Days	ETA (UTC) AvgSpd Wx/Cur Factor (kt)	Consumption			ECA Time Dist	
				FO (MT)	DO (MT)			
					TOTAL	ME		AUX
●●● Actual Route CP Spd: 12.00kt CP Cons: 26.50 FO / 0.20 DO	1,518.4	129.2 5.4	16 Apr 21:13 11.75 -0.64 / 0.37	72.9	70.9	69.8	1.1	67.3 807.6
●●● Comparison Route/Speed CP Spd: 12.00kt CP Cons: 26.50 FO / 0.20 DO	1,746.1	151.7 6.3	17 Apr 19:39 11.51 -0.65 / 0.13	128.0	40.7	39.5	1.3	39.1 469.0

Cost Summary	Total Voyage Cost	Hire Cost	Fuel Cost			Emission CO2 (MT)	CII Rating Scale : Score <small>Not included into service</small>	
			FO (USD)	DO (USD)				
				TOTAL	ME			AUX
●●● Act Route 12.00kt	\$314,020	\$112,495	\$70,839	\$130,686	\$128,695	\$1,991	450.3	N/A
●●● Alt Route 12.00kt	\$331,487	\$132,022	\$124,416	\$75,049	\$72,726	\$2,323	526.9	N/A

**Cost Assumptions**

- Sailing Time Cost 20893.68 USD per day ( 871 USD per hour)
- FO Cost 972 USD per metric ton
- DO Cost 1844 USD per metric ton

Рисунок 4 – Порівняння економічного впливу обраних маршрутів New Orleans- Norfolk

Узагальнюючи результати аналізу, можна стверджувати, що впровадження адаптивних алгоритмів управління рухом контейнеровозів дозволяє перейти до нового рівня організації судноплавства, у якому поєднуються безпека, ефективність та економічна доцільність. Використання сучасних навігаційних систем, глобальних погодних сервісів та методів інтелектуального аналізу даних створює основу для формування інтелектуальних систем управління, здатних забезпечити оптимальний режим руху судна в умовах невизначеності.

Подальший розвиток цього напрямку пов'язаний із розширенням функціональних можливостей систем за рахунок глибшої інтеграції з глобальними інформаційними платформами, підвищення точності прогнозування зовнішніх факторів та впровадження напівавтономних технологій судноводіння.

**Висновки.** У роботі розроблено метод підвищення ефективності експлуатації контейнеровозів при трансокеанських переходах на основі адаптивної корекції курсу. Запропонований підхід враховує вплив зовнішніх збурень та дозволяє забезпечити більш точне дотримання заданої траєкторії руху. Впровадження запропонованих рішень для суден-контейнеровозів сприяє скороченню тривалості рейсу (що прискорює перевезення вантажів) та зниженню витрати палива (що підвищує економічність та екологічність експлуатації).

Використання адаптивних алгоритмів у системах навігації створює передумови для розвитку інтелектуальних систем управління суднами та підвищення ефективності морських перевезень.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на інтеграцію методів машинного навчання для підвищення точності прогнозування зовнішніх впливів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Левченко О.В. Синтез варіантів дій судноводія у небезпечних ситуаціях з урахуванням часових та ресурсних обмежень у суднових СППР // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2021. – Вип. 3(34). – С. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
2. Левінський М.В., Левінський В.М. Вибір параметрів системи стабілізації курсу судна при дії водно-хвильових збурень // Автоматизація суднових технічних засобів : наук.-техн. зб. – 2020. – Вип. 26. – С.27-40. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40.
3. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
4. Сагін С.В., Сагін С.С. Визначення методу управління рухом суден морського транспорту під час забезпечення їх безпечного розходження // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
5. Ворохобін І.І., Бурмака І.О., Кулаков М.О., Петриченко О.О. Спосіб департаментизації електронної карти при зовнішньому управлінні розходження суден в зоні відповідальності СУРС // Судноводіння: науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 32. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 26-33. DOI: 10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
6. Бурмака І.А., Ворохобін І.І., Федоров Д.Б. Учет динамики судов при автоматическом выборе маневра расхождения уклонением одного судна и пассивным торможением другого // Судноводіння : науково-технічний збірник. – 2021. – Вип. 31. – С. 80-88. DOI: 10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
7. Тимочко О.І., Левченко О.В., Руденко В.М., Сітков О.М. Використання гібридних роботизованих комплексів для інспекції морських нафтогазових об'єктів // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.
8. Petrychenko O. Levynskyi M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // Transport Systems and Technologies. – 2023. – № 41. – P. 96-106. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8>.
9. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // Journal Marine Science and Engineering. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. <https://doi.org/10.3390/jmse10091331>.
10. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Maneuver Selection to Alter Ship's Course or Speed // Transactions on Maritime Science. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. <https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01>.
11. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2022. – Вип. 45. – Одеса : НУ «ОМА». – С. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
12. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198>.
13. Тимошук О.М., Мельник О.В. Аналіз можливості використання маневру розходження зміною курсу // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2023. – Вип. 1(37). – С. 96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
14. Левченко О.В., Маранов О.В. Інтеграція комбінованих систем підтримки ухвалення рішень для забезпечення навігаційної безпеки та оптимізації руху суден у портових акваторіях // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 99-108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.
15. Левченко О.В., Ганношина І.М., Остапчук Т.В. Система інформаційного забезпечення процесів прийняття рішень на мості судна // Водний транспорт: Збірник наукових праць. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 24-27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.
16. Levchenko O., Dvulit Z., Kozlenko O. Features of human resource management at railway transport enterprises // Efektyvna Ekonomika. – 2020. – № 6. – P. 1-7. doi: 10.32702/2307-2105-2020.6.72.
17. Shpak N., Dvulit Z., Maznyk L., Sroka W., Zaverbnyj A., Levchenko O. Optimisation of the export structure in transport companies: a case study // Central European business review. – 2023. – Vol. 12. – Iss. 1. – P. 115-132. <https://doi.org/10.18267/j.cebr.312>.
18. Сагін С.В., Сагін А.С. Контроль та діагностування надійності та економічності дизелів морських та річкових засобів транспорту // Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник. – 2023. – Вип. 46. – С. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.

19. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2025. – № 13. – P. 589. <https://doi.org/10.3390/jmse1303058924>.
20. Двуліт З.П., Тимошук О.М., Левченко О.В. Вдосконалення бізнес-процесів сучасних судноплавних компаній в сфері міжнародних морських вантажних перевезень // *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*. – 2021. – № 3(1). – С. 1-12.
21. Сагін А.С., Сагін С.В. Експериментальне визначення оптимальних фаз подачі палива в циліндр судових дизелів // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 206-215. [doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21).
22. Сагін С.В., Колегаєв М.О., Парменова Д.Г. Зниження ризиків інвазійного забруднення морських акваторії під час експлуатації суден морського та внутрішнього водного транспорту // *Суднові енергетичні установки : науково-технічний збірник*. – 2023. – Вип. 47. – С. 131-147. [doi: 10.31653/smf47.2023.131-147](https://doi.org/10.31653/smf47.2023.131-147).
23. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В., Сагін А.С. Підвищення економічності роботи судових середньооберткових дизелів // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166-179. [doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20).
24. Тимошук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрий Т.А. Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2020. – Вип. 3(31). – С. 120-125. <https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13>.
25. Сагін С.В., Столярик Т.О. Динаміка судових дизелів під час використанні моторних мастил з різними структурними характеристиками // *Автоматизація судових технічних засобів : наук. -техн. зб.* – 2021. – Вип. 27. – С. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
26. Сагін С.В., Заблоцький Ю.В. Діагностування технічного стану судових енергетичних установок засобів водного транспорту // *Водний транспорт*. – 2023. – № 2(38). – С. 164-175. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18).
27. Левченко О.В., Маранов О.В. Поточний стан дослідження питання прогнозування маневреності суден та їхньої гідродинаміки в обмежених водах // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 55-60. [doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.08](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.08).
28. Тимошук О.М., Боріна М.В. Дослідження методів підвищення екологічності судових енергетичних установок у водному середовищі // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2022. – Вип. 2(36). – С. 240-252. [doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21).
29. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. [doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039](https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039).
30. Сагін С.В., Бондар С.А. Розробка методу діагностування технічного стану елементів головної енергетичної установки засобів водного транспорту // *Водний транспорт*. – 2023. – № 2(38). – С. 175-186. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19).
31. Сагін С.В., Сагін С.С. Використання штучного інтелекту в ситуаціях надмірного зближення суден // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 215-225. [doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22).
32. Сагін С.С., Ворохобін І.І. Мінімізація ризику виникнення небезпеки морських подій під час навігаційних переходів суден морського транспорт // *Водний транспорт: Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 2(40). – С. 76-88.
33. Сагін С.В., Бондар С.А., Столярик Т.О. Оцінка безвідмовності судових дизелів за технічним станом моторного мастила циркуляційних систем мащення // *Водний транспорт*. – 2023. – № 1(37). – С. 59-70. [doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06).
34. Сагін С. В. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры судовых дизелей за счет использования органических покрытий // *Вісник Одеськ. нац. мор. ун-ту*, 2018. – Вип. 4(57). – С. 109-120.
35. Сагін С.В. Зниження механічних втрат у судових середньооберткових дизелях за рахунок оптимізації роботи циркуляційних систем мащення // *Вісник Одеського національного морського університету : Зб. наук. праць*, 2020. – Вип. 1(61). – С. 87-96. [doi.org 10.47049/2226-1893-2020-1-87-96](https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-87-96).
36. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišt'ek V., Kučera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings // *Lubricants*/ – 2025. № 13. – P. 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>.
37. Мадей В.В., Сагін С.В., Волков О.М. Управління процесом впорскування під час використання в судових дизелях паливних сумішей до складу яких входить паливо біологічного походження // *Водний транспорт. Збірник наукових праць*. – 2024. – Вип. 1(39). – С. 193-205. [doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20](https://doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20).

## REFERENCES

1. Levchenko O. Synthesis of vessels' options in dangerous situations taking into account time and resource restrictions in vessel CDSS. // *Water transport*. – 2021. – № 3(34). – P. 89-98. doi.org/10.33298/2226-8553/2021.3.34.10.
2. Levynskiy M.V., Levynskiy V.M. Choosing the structure and parameters of vessel's course automatic control system under the influence of water-wave disturbances // *Automation of ship technical facilities*. – 2020. – Вип. 26. – С.27-40. DOI: 10.31653/1819-3293-2020-1-26-27-40.
3. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33-42. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039.
4. Sagin S.V., Sagin S.S., Determination of the method of controlling the movement of marine transport vessels while ensuring their safe divergences *Water transport*. – 2023. – Вип. 2(38). – С. 187-198. doi.org/10.33298/2226-8553/2023.2.38.20.
5. Vorokhobin I., Burmaka I., Kulakov M., Petrychenko O.A Method of electronic chart departmentisation under external control of vessels' passing in VTS areas // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2021. – Vol.32. – P.26-33. doi.org/10.31653/2306-5761.32.2021.26-33.
6. Burmaka I., Vorokhobin I., Fedorov D. Account dynamics of ships at the automatic choice of manoeuvre of divergence by deviation of one ship and by the passive braking of the other // *Shipping & Navigation: Research journal*. – 2021. – Vol.31. – P.80-88. doi.org/10.31653/2306-5761.31.2021.80-88.
7. Tymochko O.I., Levchenko O.V., Rudenko V.M., Sitkov O.M. Use of hybrid robotic complex for inspection of marine oil and gas facilities // *Water transport*. – 2024. – Vol. 2(40). – P. 6-22. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.2.40.01.
8. Petrychenko O. Levynskiy M., Prytula D., Vynohradova A. Fuel options for the future: a comparative overview of properties and prospects // *Transport Systems and Technologies*. – 2023. – № 41. – P. 96-106. https://doi.org/10.32703/2617-9059-2023-41-8.
9. Sagin S., Kuropyatnyk O., Sagin A., Tkachenko I., Fomin O., Píštěk V., Kučera P. Ensuring the Environmental Friendliness of Drillships during Their Operation in Special Ecological Regions of Northern Europe // *Journal Marine Science and Engineering*. – 2022. – Vol. 10(9). – P. 1331. https://doi.org/10.3390/jmse10091331.
10. Burmaka I., Vorokhobin I., Melnyk O., Burmaka O., Sagin S. Method of Prompt Evasive Manuever Selection to Alter Ship's Course or Speed // *Transactions on Maritime Science*. – 2022. – Vol. 11(1). – P. 1-9. https://doi.org/10.7225/toms.v11.n01.w01.
11. Sagin S., Kuropyatnyk O., Tkachenko I. Ensuring the environmental friendliness of marine diesel engines of specialized ships // *Ship power plants*. – 2022. – Vol. 45. – P. 5-16. doi: 10.31653/smf45.2022.5-16.
12. Sagin S., Sagin A. Development of method for managing risk factors for emergency situations when using low-sulfur content fuel in marine diesel engines // *Technology Audit and Production Reserves*. – 2023. – № 5 (1(73)). – P. 37–43. doi: https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.290198.
13. Tymoshchuk O., Melnyk O. Analysis of the possibility of using the divergence maneuver by changing the course // *Water Transport: Collection of scientific works*. – 2023 – Vol.1(37). – P.96-102. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.10.
14. Levchenko O.V., Maranov O.V. Integration of combined decision support systems to ensure navigational safety and optimize vessel traffic in port areas // *Water transport*. – 2025. – № 1(42). – P. 99–108. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.14.
15. Levchenko O.V., Hannoshyna I.M., Ostupchuk T.V. Information support system for decision-making processes on the bridge of a ship // *Water transport*. – 2025. – № 1(42). – P. 24–27. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.04.
16. Levchenko O., Dvulit Z., Kozlenko O. Features of human resource management at railway transport enterprises // *Efektivna Ekonomika*. – 2020. – № 6. – P. 1-7. doi: 10.32702/2307-2105-2020.6.72.
17. Shpak N., Dvulit Z., Maznyk L., Sroka W., Zaverbnyj A., Levchenko O. Optimisation of the export structure in transport companies: a case study // *Central European business review*. – 2023. – Vol. 12. – Iss. 1. – P. 115-132. https://doi.org/10.18267/j.cebr.312.
18. Sagin S.V., Sagin A.S. Control and diagnosis of reliability and economy of diesel engines of sea and river means of transport // *Ship power plants*. – 2023. – Vol. 46. – P. 118-131. doi: 10.31653/smf46.2023.118-131.
19. Sagin S., Haichenia O., Karianskyi S., Kuropyatnyk O., Razinkin R., Sagin A., Volkov O. Improving Green Shipping by Using Alternative Fuels in Ship Diesel Engines // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2025. – № 13. – P. 589. https://doi.org/10.3390/jmse1303058924.
20. Dvulit Z.P., Tymoshchuk O.M., Levchenko O.V. Improvement of business processes in modern shipping companies in the field of international sea freight transportation // *Management and Entrepreneurship in Ukraine: the stages of formation and problems of development*. – 2021. – № 3(1). – С. 1-12.

21. Sagin A.S., Sagin S.V. Experimental determination of optimal phases of fuel supply to the cylinder of marine diesel engines // Water transport. – 2024. – Vol. 1(39). – P. 206-215. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.21.
22. Sagin S.V., Kolegaev M.O., Parmenova D.G. Reducing the risks of invasive pollution of marine water areas during the operation of sea and inland water transport vessels // Ship power plants. – 2023. – № 47. – P. 131-147. doi: 10.31653/smf47.2023.131-147.
23. Sagin S.V., Zablotskyi Y.V. Sagin A.S. Increasing the efficiency of ship's medium-speed diesel engines // Water transport. – 2025. – Вип. 1(42). – С. 166-179. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.20.
24. Tymoshchuk O., Daki O., Boyko O., Karadobriy T. Analytical Inspection of adaptive vessel control systems and ways of their construction // Water Transport: Collection of scientific works. – 2020. – Vol. 3(31). – P. 120-125. doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13.
25. Sagin S.V., Stoliaryk T.O. Dynamics of marine diesel engines when using motor oils with different structural characteristics // Automation of ship facilities. – 2021. – № 27. – P. 108-119. DOI: 10.31653/1819-3293-2021-1-27-108-119.
26. Sagin S.V., Zablotskyi Yu.V. Development of a method for diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport // Water transport. – 2023. – Vol. 2(38). – P. 164-175. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.18.
27. Levchenko O.V., Maranov O.V. The current state of research on predicting the manoeuvrability of ships and their hydrodynamics in confined waters // Water transport. – 2025. – № 1(42). – P. 55–60. doi.org/10.33298/2226-8553.2025.1.42.08.
28. Tymoshchuk O., Borina M. Research of methods of enhancing the environmental facility of ship power plants in the aquatic environment // Water transport. – 2022. – Vol. 2(36). – P. 240-252. doi.org/10.33298/2226-8553.2022.2.36.21.
29. Sagin S.V., Sagin S.S., Madey V. Analysis of methods of managing the environmental safety of the navigation passage of ships of maritime transport // Technology Audit and Production Reserves. – 2023. – № 4 (3(72)). – P. 33–42. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2023.286039>.
30. Sagin S.V., Bondar S.A. Development of a method for diagnosing the technical condition of elements of the main power plant of water transport // Water transport. – 2023. – Vol. 2(38). – P. 175-186. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.19.
31. Sagin S.S., Sagin S.V. Use of artificial intelligence in the situations of excessive vessels approaching // Water Transport. – 2024. – № 1(39). – P. 215-225. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.22.
32. Sagin S.S., Vorokhobin I.I. Minimizing the risk of maritime incidents during navigation passages of sea transport vessels // Water transport. – 2024. – Vol. 2(40). – P. 76-88.
33. Sagin S.V., Bondar S.A., Stoliaryk T.O. Assessment of the reliability of marine diesel engines according to the technical condition of engine oil of circulating lubrication systems // Water transport. – 2023. – Vol. 1(37). – P. 59-70. doi.org/10.33298/2226-8553.2023.1.37.06.
34. Sagin S.V. Increasing the reliability of precision pairs of marine diesel fuel equipment through the use of organic coatings // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2018. – № 4(57). – P. 109–120.
35. Sagin S.V. Reducing mechanical losses in medium-speed marine diesel engines by optimizing the operation of circulating lubrication systems // Herald of the Odessa National Maritime University. – 2020. – № 1(61). – P. 87-96. doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-87-96.
36. Sagin S., Sagin A., Zablotskyi Y., Fomin O., Pišček V., Kučera P. Method for Maintaining Technical Condition of Marine Diesel Engine Bearings // Lubricants/ – 2025. № 13. – P. 146. <https://doi.org/10.3390/lubricants13040146>.
37. Madey V.V., Sagin S.V., Volkov O.M. Direction of the injection process during the use of fuel mixture that include fuel of biological origin in marine diesel engines // Water transport. – 2024. – Vol. 1(39). – P. 193-205. doi.org/10.33298/2226-8553.2024.1.39.20.

**Sagin S.S., Sagin S.V.**

### **INCREASING THE EFFICIENCY OF CONTAINER SHIP OPERATIONS DURING TRANSOCEANIC CROSSINGS BASED ON ADAPTIVE COURSE CORRECTION**

*The analysis of the features of container ship operation during transoceanic crossings under the influence of variable hydrometeorological factors was carried out. It was established that one of the key reasons for the decrease in operational efficiency is the deviation of the vessel from the set trajectory under the influence of wind, currents and waves, which leads to increased fuel consumption, voyage duration and increased navigational risks. It was shown that traditional methods of course maintenance, which are based on periodic correction, do not provide the necessary level of adaptability*

*in conditions of uncertainty and dynamic changes in the external environment. The feasibility of switching to proactive approaches to vessel traffic management, which are based on the integration of modern navigation systems with external data sources, is substantiated. The paper proposes a method for adaptive correction of the course of a container ship, which involves continuous analysis of the navigation situation using data from global navigation satellite systems (GNSS), electronic cartographic systems (ECDIS), as well as information from weather and oceanographic services. Particular attention is paid to the use of data from international forecasting centers, in particular ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) and NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), which allows taking into account forecast changes in external conditions in the process of vessel movement management. The proposed approach is supplemented by the use of methods of intelligent data analysis to identify patterns of influence of external factors on vessel deviation from the route and optimization of movement parameters. The concept of adaptive course correction has been developed, which ensures minimization of deviation from the given trajectory taking into account the energy efficiency of movement. It is shown that the implementation of adaptive course correction is especially relevant in the context of rising world fuel prices and increasing environmental requirements, in particular within emission control areas (ECA), where route optimization allows reducing operating costs and ensuring compliance with international standards. The results obtained confirm the feasibility of integrating adaptive control algorithms into modern navigation systems and navigator decision support systems, which ensures increased accuracy of vessel movement, reduced fuel consumption, improved economic performance of operation and increased navigation safety.*

**Keywords:** *adaptive course correction, container ship, ECDIS, external disturbances, GNSS, motion trajectory, navigation safety, navigation, operational efficiency, sea transport.*

*Стаття прийнята 02.02.2026*