МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ МОРСЬКОГО ФЛОТУ

Кафедра «Навігація і керування судном»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СУДНОМ

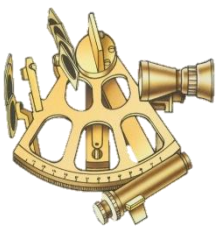
Методичні вказівки з дисципліни «Автоматизовані системи управління судном»

до виконання практичних робіт

Спеціальність J5 – Морський та внутрішній водний транспорт

Спеціалізація J5.01 – Навігація і управління морськими суднами

освітньо-професійна програма «Безпека судноплавства»



Одеса – 2026

ЗАТВЕРДЖЕНО
Кафедрою «Навігація і керування судном»
Одеський національний морський університет
(протокол № 6 від 26.05.2026 р.)

Методичні вказівки підготовлено відповідно до робочої програми освітнього компонента «Автоматизовані системи управління судном» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціалізацією J5.01 «Навігація і управління морськими суднами», ОПП «Безпека судноплавства».

ГОНЧАРУК І.П., Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Автоматизовані системи управління судном» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціалізацією J5.01 «Навігація і управління морськими суднами», ОПП «Безпека судноплавства». – Одеса: ОНМУ, 2026. – 12 с.

Рекомендовано для використання здобувачами очної (денної) та заочної форм навчання.

Зміст

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ 4
1.1. Мета практичної підготовки 4
1.2. Компетентності та результати навчання 4
1.3. Організація виконання практичних робіт 5
2. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. ПАРАМЕТРИ ЦИРКУЛЯЦІЇ СУДНА 5
2.1. Мета роботи 5
2.2. Теоретичні відомості 5
2.3. Вихідні дані 6
2.4. Порядок виконання 6
2.5. Таблиця розрахунків 6
2.6. Приклад фрагмента розрахунку 7
2.7. Зміст звіту 7
2.8. Контрольні питання 7
3. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВОРОТКОСТІ СУДНА ПРИ ВІТРІ 7
3.1. Мета роботи 7
3.2. Теоретичні відомості 7
3.3. Вихідні дані 8
3.4. Порядок виконання 8
3.5. Таблиця результатів 8
3.6. Інтерпретація результатів 8
3.7. Зміст звіту 9
3.8. Контрольні питання 9
4. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ 9
5. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ 10
6. ВІДПОВІДНІСТЬ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ РЕЗУЛЬТАТАМ НАВЧАННЯ 10
7. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА 10
ДОДАТОК А. ВАРІАНТИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №1 11
ДОДАТОК Б. ВАРІАНТИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №2 11
ДОДАТОК В. ШАБЛОН ВИСНОВКУ 12

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Методичні вказівки призначені для організації та виконання практичних робіт з освітнього компонента «Автоматизовані системи управління судном» (ОК 9) здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціалізацією J5.01 «Навігація і управління морськими суднами» освітньо-професійної програми «Безпека судноплавства».

Відповідно до робочої програми освітнього компонента практична підготовка охоплює дві роботи: «Параметри циркуляції судна» та «Визначення статичних характеристик повороткості судна при вітрі». Загальний обсяг практичних занять становить 4 години для очної (денної) форми та 2 години для заочної форми навчання.

Практичні роботи спрямовані на перенесення теоретичних положень про судно як об’єкт автоматичного управління, його керованість і статичні характеристики у площину професійного аналізу. Основна увага приділяється інтерпретації маневрених характеристик, оцінюванню обмежень автоматизованих систем управління та прийняттю обґрунтованих рішень щодо безпечного керування судном.

1.1. Мета практичної підготовки

- закріпити системне розуміння судна як об’єкта автоматичного управління;
- навчити визначати та інтерпретувати основні параметри циркуляції судна;
- формувати вміння оцінювати повороткість, курсову стійкість і запас керованості;
- навчити аналізувати вплив вітрового збурення на можливість стабілізації судна на заданому курсі;
- формувати навички роботи з маневреними характеристиками, розрахунковими таблицями та графічними залежностями;
- розвивати здатність оцінювати працездатність автоматизованих систем управління та їх вплив на безпеку судноплавства.

1.2. Компетентності та результати навчання

Практичні роботи забезпечують формування та перевірку таких компетентностей і програмних результатів навчання, визначених робочою програмою освітнього компонента:

Позначення	Зміст
ІК	Здатність розв’язувати складні спеціалізовані завдання та проблеми у галузі морського і внутрішнього водного транспорту, що передбачають дослідження та/або інновації у сфері судноводіння та безпеки судноплавства.
ЗК1	Здатність інтегрувати знання та розв’язувати складні задачі у широких або мультидисциплінарних контекстах.
ЗК8	Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології для пошуку, обробки та аналізу інформації.
ЗК10	Здатність застосовувати інноваційні підходи та сучасні методи, спрямовані на забезпечення техногенної і виробничої безпеки.
СК10	Здатність застосовувати системний підхід при оцінці працездатності

Позначення	Зміст
	автоматизованих систем управління судном та її впливу на безпеку судноплавства.
РН6	Набуття системних, спеціалізованих концептуальних знань та критичне осмислення новітніх досягнень у сфері безпеки судноплавства, навігації і управління суднами.
РН14	Уміння оцінювати ризики при маневруванні та управлінні судном у різних умовах, критично використовувати навігаційні дані та враховувати принципи роботи, обмеження і джерела помилок технічних засобів.

1.3. Організація виконання практичних робіт

- до початку заняття здобувач опрацьовує відповідний лекційний матеріал та основні терміни;
- вихідні дані обираються за номером варіанта, визначеним викладачем;
- розрахунки виконуються послідовно із зазначенням формул, підстановок, одиниць вимірювання та проміжних результатів;
- графіки повинні містити назви осей, одиниці вимірювання, легенду та позначення граничних значень;
- у висновку здобувач не повторює розрахунки, а інтерпретує отримані результати з позицій безпеки судноводіння та роботи АСУС;
- звіт подається у друкованому або електронному вигляді відповідно до вимог викладача.

2. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. ПАРАМЕТРИ ЦИРКУЛЯЦІЇ СУДНА

2.1. Мета роботи

Визначити та проаналізувати основні геометричні та кінематичні параметри циркуляції судна, оцінити його повороткість і відповідність базовим критеріям маневреності, а також встановити зв’язок між кутом перекладки керма, кривизною траєкторії, кутом дрейфу та втратою швидкості на циркуляції.

2.2. Теоретичні відомості

Повороткість судна характеризує його здатність змінювати напрямок руху і рухатися по заданій криволінійній траєкторії. Максимальна повороткість зазвичай оцінюється за висувом і тактичним діаметром циркуляції при максимальній перекладці керма у стандартних умовах. У лекційних матеріалах наведено критерій IMO MSC.137(76): висув на циркуляції з граничною кладкою керма не повинен перевищувати 4,5L, а тактичний діаметр — 5L, де L — довжина судна між перпендикулярами.

Статична характеристика керованого кермом судна описує залежність параметрів усталеної циркуляції від кута керма. Як узагальнену характеристику зручно використовувати відносну кривизну L/R, де R — радіус усталеної циркуляції.

$$L / R = f(\beta)$$

Для навчальних розрахунків кут дрейфу в центрі мас можна оцінити наближено через відносну кривизну:

$$\alpha \approx k\alpha \cdot (L / R), \quad де\ k\alpha = 0{,}40...0{,}45$$

Втрата швидкості на усталеній циркуляції може бути оцінена наближеною залежністю:

$$\bar{V} / V_0 \approx 1 / \sqrt{(1 + 10 \cdot (L/R)^2)}$$

Додатково для якісної перевірки може використовуватися наближена оцінка відносного падіння швидкості:

$$(V_0 - \bar{V}) / V_0 \approx 0{,}6 \cdot (L/R)$$

Останні дві формули мають навчально-оцінювальний характер і застосовуються для аналізу тенденції зміни швидкості, а не для заміни маневрених випробувань конкретного судна.

2.3. Вихідні дані

Вихідні дані наведені у Додатку А. Для свого варіанта здобувач отримує довжину судна L, початкову швидкість V_0, максимальний кут перекладки керма β_{max}, а також розрахункові радіуси усталеної циркуляції R для кількох значень β. Навчальні дані сформовані для відпрацювання методики і не є паспортними характеристиками конкретного судна.

2.4. Порядок виконання

1. Записати вихідні дані варіанта та перевести всі величини до узгодженої системи одиниць.
2. Для кожного кута перекладки керма β визначити відносну кривизну L/R.
3. За значенням $k\alpha = 0{,}425$ визначити оцінний кут дрейфу α для кожного режиму.
4. Розрахувати відношення $\bar{V}/V_0$ та усталену швидкість $\bar{V}$.
5. Визначити відносну втрату швидкості $\Delta V/V_0 = (V_0 - \bar{V})/V_0$.
6. Побудувати графіки $L/R = f(\beta)$, $\alpha = f(\beta)$ та $\bar{V}/V_0 = f(\beta)$.
7. Для режиму $\beta = \beta_{max}$ визначити висув A та тактичний діаметр DT за даними варіанта; розрахувати A/L і DT/L.
8. Перевірити виконання критеріїв $A \le 4{,}5L$ та $DT \le 5L$.
9. Сформулювати висновок про повороткість судна та вплив збільшення кута керма на кривизну траєкторії, дрейф і швидкість.

2.5. Таблиця розрахунків

β	R, м	L/R	α, рад (оцінка)	$\bar{V}/V_0$	$\bar{V}$, вуз
5°					
10°					
15°					
20°					
25°					
30°					
35°					

2.6. Приклад фрагмента розрахунку

Приклад наведено лише для демонстрації послідовності. Нехай L = 180 м, V_0 = 14 вуз, β = 20°, R = 450 м. Тоді:

$$L/R = 180/450 = 0{,}400$$

$$\alpha \approx 0{,}425 \cdot 0{,}400 = 0{,}170 \text{ рад} \approx 9{,}7°$$

$$\bar{V}/V_0 \approx 1/\sqrt{(1+10 \cdot 0{,}400^2)} \approx 0{,}620$$

$$\bar{V} \approx 14 \cdot 0{,}620 \approx 8{,}68 \text{ вуз}$$

При оформленні власної роботи необхідно виконати розрахунок для всіх заданих кутів керма та побудувати відповідні залежності.

2.7. Зміст звіту

- назва і мета роботи;
- вихідні дані варіанта;
- використані формули з поясненням позначень;
- заповнена таблиця розрахунків;
- три графічні залежності;
- перевірка критеріїв маневреності;
- аналітичний висновок обсягом 5–8 речень.

2.8. Контрольні питання

10. Що характеризує повороткість судна?
11. Які умови вважаються стандартними для оцінювання маневреності судна?
12. Що таке висув і тактичний діаметр циркуляції?
13. Як змінюється відносна кривизна траєкторії при збільшенні кута керма?
14. Чому швидкість судна на циркуляції зменшується?
15. Який зв’язок існує між кривизною траєкторії та кутом дрейфу?
16. Які критерії ІМО використовуються для оцінки максимальної повороткості?
17. Як параметри циркуляції впливають на налаштування та роботу автоматизованих систем управління курсом і траєкторією?

3. ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2. ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОВОРОТКОСТІ СУДНА ПРИ ВІТРІ

3.1. Мета роботи

Дослідити вплив вітрового збурення на можливість стабілізації судна на заданому курсі, визначити допустимий запас перекладки керма та оцінити області безпечної керованості за різних швидкостей і курсових кутів вітру.

3.2. Теоретичні відомості

Під дією вітру на надводну частину корпусу виникають аеродинамічні сила і момент. Для збереження прямолінійного руху система управління повинна компенсувати цей момент

зміщенням середнього положення керма на кут βСР. Судно вважається керованим при вітрі, якщо необхідний середній кут перекладки керма не перевищує допустимого значення βДОП.

$$\beta ДОП = \beta max - \varepsilon$$

де βmax - максимальний робочий кут перекладки керма; ε - резерв (запас) перекладки, необхідний для компенсації хвильових і випадкових збурень. У навчальних матеріалах зазначено, що для морських транспортних суден цей запас зазвичай приймають 10–15° на хвилюванні та близько 5° без хвилювання.

Статична характеристика керованості при вітрі може подаватися як сімейство залежностей βСР = f(ККt) для різних швидкостей вітру, де ККt - курсовий кут вітру. Найнесприятливіші напрямки можуть вимагати найбільшого компенсувального кута керма. У лекційному матеріалі як характерний несприятливий напрямок згадується ККt ≈ 130°.

3.3. Вихідні дані

Для кожного варіанта задаються βmax, запас ε та навчальні значення βСР для курсових кутів вітру 30°, 60°, 90°, 120°, 130°, 150° і 180° при швидкостях вітру 10, 15, 20 і 25 м/с. Дані у Додатку Б є умовними навчальними значеннями, сформованими для відпрацювання методики аналізу.

3.4. Порядок виконання

18. За вихідними даними визначити βДОП = βmax − ε.
19. Для кожної швидкості вітру побудувати залежність βСР = f(ККt).
20. На графіку провести горизонтальні лінії +βДОП і −βДОП.
21. Визначити курсові кути та швидкості вітру, за яких |βСР| наближається до βДОП або перевищує його.
22. Встановити найбільш несприятливий сектор курсових кутів вітру для заданого варіанта.
23. Оцінити запас керованості Δβ = βДОП − |βСР|max для кожної швидкості вітру.
24. Сформулювати рішення щодо можливості автоматичної стабілізації курсу та необхідності переходу на інший режим керування або зміни режиму руху судна.

3.5. Таблиця результатів

vw, м/с	max |βСР|, °	Δβ = βДОП − max|βСР|, °	Оцінка керованості
10			
15			
20			
25			

3.6. Інтерпретація результатів

Якщо Δβ > 0, система має формальний запас керуючого впливу для компенсації середнього вітрового моменту. Чим менше Δβ, тим вища чутливість до додаткових хвильових, течійних або модельних похибок. Якщо Δβ ≤ 0, заданий режим слід вважати граничним або таким, що не забезпечує достатнього запасу керованості в межах прийнятих умов.

При формулюванні висновку необхідно пов’язати отриманий запас керованості з роботою Heading Control System (HCS), можливостями авторульового та необхідністю контролю оператором правильності реакції автоматизованої системи на зовнішні збурення.

3.7. Зміст звіту

- назва та мета роботи;
- βmax, ε та розраховане βДОП;
- таблиця вихідних βСР;
- графік сімейства βСР = f(KKt);
- таблиця максимальних значень і запасів керованості;
- визначення несприятливих секторів вітру;
- висновок щодо можливості стабілізації курсу засобами АСУС.

3.8. Контрольні питання

25. Чому під час вітру середнє положення керма може бути зміщене від діаметральної площини?
26. Що характеризує βСР?
27. Як визначається βДОП?
28. Для чого необхідний резерв перекладки керма ε?
29. Чому однаковий вітер може по-різному впливати на судна з носовою та кормовою надбудовою?
30. Що означає від’ємний запас керованості Δβ?
31. Як зміна швидкості судна може впливати на можливість компенсації вітрового моменту?
32. Які дії повинен виконати судноводій, якщо автоматизована система наближається до межі керуючого впливу?

4. ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ

Звіт з кожної практичної роботи повинен бути завершеним інженерно-аналітичним документом. Рекомендований обсяг – 4-7 сторінок без урахування титульної сторінки. Допускається електронне виконання розрахунків і графіків у табличному процесорі за умови, що у звіті наведені формули, вихідні дані та логіка отримання результатів.

- титульна сторінка;
- мета роботи;
- вихідні дані;
- короткі теоретичні положення;
- розрахункова частина;
- таблиці та графіки;
- аналіз результатів;
- висновок;
- відповіді на контрольні питання (за вимогою викладача).

Графічні матеріали повинні бути читабельними. Під час використання Excel або іншого програмного засобу обов’язково підписуються осі, одиниці вимірювання та серії даних.

Результат, отриманий програмно, має бути інтерпретований здобувачем, а не лише вставлений у звіт.

5. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ

Відповідно до робочої програми виконання практичних робіт входить до поточного контролю. Нижче наведена рекомендована деталізація оцінювання однієї практичної роботи в межах 10 балів.

Критерій	Бал	Характеристика
Підготовка та розуміння теорії	2	Коректно пояснює фізичний зміст параметрів і формул.
Правильність розрахунків	3	Розрахунки повні, послідовні, без суттєвих помилок.
Таблиці та графіки	2	Дані оформлені коректно, графіки читабельні та підписані.
Аналіз та професійна інтерпретація	2	Зроблено висновки щодо керованості, ризиків та роботи АСУС.
Оформлення та захист	1	Звіт структурований, здобувач аргументовано відповідає на питання.

Орієнтовна шкала: 9-10 балів - робота виконана повністю і демонструє глибоке розуміння; 6-8 балів - робота в цілому правильна, але містить незначні неточності; 3-5 балів - засвоєні базові положення, проте є суттєві помилки або неповний аналіз; 0-2 бали - робота не виконана або здобувач не демонструє розуміння методики.

6. ВІДПОВІДНІСТЬ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ РЕЗУЛЬТАТАМ НАВЧАННЯ

Практична робота	РН / компетентності	Освітній результат
Практична робота №1. Параметри циркуляції судна	СК10; РН14; РН6	Системний аналіз маневрених характеристик; оцінювання повороткості; інтерпретація обмежень судна як об’єкта автоматичного управління.
Практична робота №2. Статичні характеристики повороткості при вітрі	СК10; РН14; РН6	Оцінювання ризику втрати запасу керованості під дією зовнішнього збурення; аналіз меж працездатності HCS та обґрунтування рішення судноводія.

7. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА

33. Робоча програма освітнього компонента ОК 9 «Автоматизовані системи управління судном». ОНМУ, 2026/2027 н. р.
34. Лекційні матеріали: «Судно як об’єкт автоматичного управління».

35. Лекційні матеріали: «Характеристики об’єкту управління».
36. Лекційні матеріали: «Система управління курсом».
37. Лекційні матеріали: «Система управління траєкторією судна».
38. IMO Resolution MSC.137(76). Standards for Ship Manoeuvrability — як нормативний орієнтир, наведений у лекційних матеріалах.

ДОДАТОК А. ВАРІАНТИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №1

Навчальні дані. R20, R25, R30 і R35 — радіуси усталеної циркуляції при відповідних кутах перекладки керма. A — висув; DT — тактичний діаметр.

Вар.	L, м	V_0, вуз	βmax	R20, м	R25, м	R30, м	R35, м	A, м	DT, м
1	150	13.0	35	520	430	370	330	560	690
2	165	13.5	35	565	465	398	350	610	755
3	180	14.0	35	620	505	430	380	675	820
4	195	14.5	35	675	550	470	415	725	880
5	210	15.0	35	735	595	505	445	790	950
6	225	14.2	35	790	640	545	480	845	1025
7	240	13.8	35	850	690	585	515	900	1090
8	255	13.2	35	910	735	625	550	965	1160

Для кутів 5°, 10° і 15° значення R визначити лінійною екстраполяцією/інтерполяцією за вказівкою викладача або обмежитися розрахунками для 20°, 25°, 30° і 35°. Основна оцінка критеріїв IMO виконується для $\beta = \beta_{max}$.

ДОДАТОК Б. ВАРІАНТИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №2

Щоб документ залишався компактним, для кожного варіанта задається масштабний коефіцієнт C. Базова таблиця βCP для варіанта 1 множиться на C; знак кута зберігається. Отримані значення є навчальними, а не паспортними даними судна.

Вар.	βmax, °	ε, °	C
1	35	10	1.0
2	35	10	1.05
3	35	12	0.95
4	35	12	1.1
5	35	10	0.9
6	35	15	1.0
7	35	12	1.15

Вар.	βmax, °	ε, °	C
8	35	15	0.92

Базові значення βСР (варіант 1, С = 1,00):

KKt, °	βСР при 10 м/с, °	15 м/с	20 м/с	25 м/с
30	2	4	6	8
60	3	6	9	12
90	4	8	13	17
120	5	11	17	23
130	6	12	19	26
150	4	9	14	19
180	2	4	7	10

Приклад: для варіанта 4 (С = 1,10) і vw = 20 м/с, KKt = 130°: βСР = 19° × 1,10 = 20,9°. Далі значення порівнюється з βДОП = βmax − ε.

ДОДАТОК В. ШАБЛОН ВИСНОВКУ

Висновок має відповідати на три питання: (1) що показали розрахунки; (2) які обмеження керованості виявлено; (3) яке практичне значення результат має для роботи автоматизованої системи та дій судноводія. Рекомендовано уникати формулювань «мету роботи досягнуто» без змістової інтерпретації.

Орієнтовна логіка: «За результатами розрахунків встановлено, що… Зі збільшенням … спостерігається… Отримані значення свідчать, що запас керованості… Для автоматизованої системи управління це означає… За умов наближення до граничних значень судноводій повинен…».