



АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ В ЗАДАЧАХ ВИМІРЮВАННЯ І КЕРУВАННЯ ПОРТОВИХ ОПЕРАЦІЙ

Топалов А. М.

Кандидат технічних наук, доцент

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

76019, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна,

<https://orcid.org/0000-0003-2745-7388>

e-mail: topalov_ua@ukr.net

Анотація. У статті представлено результати аналізу автоматизованих систем, що застосовуються в портовій діяльності, з акцентом на їх функціональні можливості, переваги та доцільність використання в умовах цифрової трансформації. Розглянуто три ключові типи систем: циклічного управління, інформаційно-пошукові та інформаційно-порадницькі. Системи циклічного управління можуть забезпечувати виконання операцій, пов'язаних з навантаженням, розвантаженням, транспортуванням вантажів і переміщенням технічних засобів тощо. Їх застосування ґрунтується на використанні замкнених і розімкнених алгоритмів керування, що дозволяють стабілізувати параметри технологічних процесів і оперативно компенсувати зовнішні збурення. Інформаційно-пошукові системи орієнтовані на обробку великих обсягів даних, пов'язаних з логістикою, станом технічного обладнання, розкладом прийняття суден тощо. Їх впровадження забезпечує оперативний доступ до інформації для персоналу та адміністрації порту. Інформаційно-порадницькі системи, зокрема на базі штучного інтелекту, підвищують рівень підтримки управлінських рішень, формуючи рекомендації з урахуванням аналізу ситуацій, експертних знань та змін у зовнішньому середовищі. У статті обґрунтовано необхідність комплексного впровадження вказаних систем з метою підвищення ефективності портових операцій, зниження впливу людського чинника, покращення управління ресурсами та забезпечення сталого функціонування портової інфраструктури. Урахування сучасних тенденцій, таких як цифровізація та автоматизація, дозволяє порту ефективно адаптуватися до динамічних змін у глобальному транспортному середовищі. Запропоновані підходи можуть бути використані як основа для модернізації інформаційно-керуючих систем морських портів з урахуванням їхніх специфічних потреб і технічних умов.

Ключові слова: автоматизація; портова інфраструктура; вимірювання; керування; система; структура; цифрові технології; комп'ютерна мережа.

Вступ

Портова інфраструктура в кожному окремому випадку має різну розбудову. Портом називають ділянку берега та прилеглу до нього акваторії, призначені для безпечної стоянки суден та виконання вантажно-розвантажувальних робіт. Кожен

порт має такі елементи: акваторію, рейд, причальний фронт, територію порту та портові споруди. Загалом нині порт – це складний транспортний вузол з високим ступенем механізації робіт, складними комунікаціями, і, навіть, засобами зв'язку й сигналізації. Щоб виконувати свої функції,

Запропоноване посилання: Топалов, А. М. (2025). Автоматизовані системи в задачах вимірювання і керування портових операцій. *Методи та прилади контролю якості*, 1(54), 121-131. doi: 10.31471/1993-9981-2025-1(54)-121-131

* Відповідальний автор



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

порт повинен мати зручну акваторію. Акваторія – водний простір у межах кордонів порту, що складається з водних площ, суднових ходів для проходу та маневрування. Порт також має рейд – частину акваторії за межами суднового ходу, де судна можуть відстоюватися або здійснювати різні операції на плаву. На березі порт має територію, що примикає до акваторії, де розміщуються виробничі, адміністративні та комунальні споруди порту та під'їзні шляхи до причалів, складів та інших служб. У кожному порту є спеціальні гідротехнічні споруди, що захищають акваторію від впливу хвиль. Крім того, в порту встановлюються споруди судноплавної обстановки (маяки).

У сучасних умовах глобалізації та зростаючої конкуренції на світовому ринку транспортних послуг морські порти відіграють ключову роль у забезпеченні безперервності логістичних ланцюгів та сталого економічного розвитку. Водночас вони стикаються з комплексним і багатовимірним завданням, що полягає у необхідності постійного підвищення ефективності та продуктивності своєї операційної діяльності. Досягнення цих цілей вимагає впровадження інноваційних технологій, цифровізації управлінських процесів і оптимізації використання ресурсів [1-3].

У контексті глобальних трансформацій, пов'язаних із розвитком Індустрії 4.0, морські порти дедалі активніше інтегрують сучасні цифрові та автоматизовані технології в усі аспекти своєї діяльності. Індустрія 4.0, яка передбачає глибоку інтеграцію кіберфізичних систем, Інтернету речей, великих даних, штучного інтелекту та хмарних обчислень, суттєво змінює парадигму функціонування логістичних та портових комплексів. Ці зміни спрямовані на досягнення вищого рівня ефективності, гнучкості та прогнозованості в управлінні портовими процесами. Причому автоматизація портової інфраструктури має суттєве значення в роботі порту та охоплює широке коло рішень цифровізації і побудови, зокрема використання автономних транспортних засобів (наприклад, безпілотних вантажних платформ і кранів),

інтелектуальних систем управління трафіком, сенсорних мереж для моніторингу стану обладнання, а також цифрових платформ для координації логістичних ланцюгів у режимі реального часу. Такі інновації дозволяють зменшити вплив людського фактора, мінімізувати час обробки вантажів, покращити безпеку операцій і знизити експлуатаційні витрати [4, 5].

Водночас автоматизація несе низку викликів, серед яких – необхідність модернізації інфраструктури, високі інвестиційні витрати, ризики кібербезпеки, а також соціальні аспекти, пов'язані зі змінами у структурі зайнятості. У зв'язку з цим важливим стає питання розроблення збалансованих автоматизованих систем.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю впровадження ефективних механізмів автоматизованої передачі даних у портовій інфраструктурі в умовах посилення глобальної конкуренції, підвищення вимог до якості обслуговування, дотримання екологічних регламентів та принципів сталого розвитку. Автоматизація процесів керування, моніторингу, обробки та передачі інформації стає критично важливою для забезпечення оперативного управління портовими об'єктами, мінімізації людського фактора та підвищення ефективності логістичних ланцюгів.

Метою роботи є ідентифікація ключових технічних засобів та систем автоматизованого обміну інформацією між об'єктами вимірювання, контролю та управління в межах портової інфраструктури.

Особливості функціонування портів України та літературний аналіз провідних рішень автоматизації

Серед ключових сфер, у яких функціонують підприємства морського сектору України, можна виокремити: суднопластво, портове господарство, а також широкий спектр сервісних послуг, включаючи агентування, експедирування, сюрвеєрську діяльність, кріюінгові послуги, брокерське обслуговування тощо. Усі ці напрямки безпосередньо залежать від динаміки та тенденцій глобальної морської

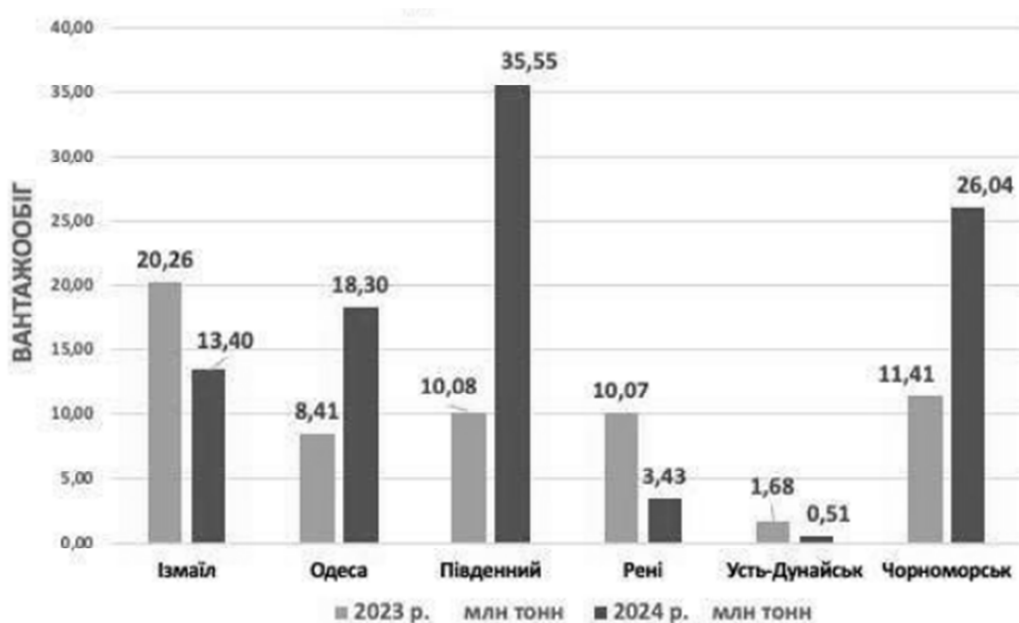


Рисунок 1 – Вантажообіг портів великої Одеси та Дунайського регіону

індустрії, що зумовлює необхідність системного врахування міжнародних змін, стандартів і викликів при формуванні стратегії розвитку вітчизняного морського господарства.

З початку роботи Українським коридором експортовано 18 млн тонн вантажів до 32 країн світу, із них 12,7 млн тонн – агропродукція, повідомив Голова ДП «АМПУ» Юрій Литвин.

У військових умовах портами України за 2023 рік перевантажено близько 62 млн тонн вантажів. Лідерами за номенклатурою стали зернові – 45,5 млн тонн та наливні – 6,3 млн тонн. Досягненням 2023 року став початок роботи тимчасового морського коридору, оголошеного ВМС ЗСУ, що дозволив розблокувати порти Великої Одеси. Протягом 2023 року 400 суден експортували 12,8 млн тонн вантажів через цей коридор.

Дунайські порти також показали суттєвий розвиток, перевантаживши 32 млн тонн, що перевищує рекордні показники 2022 року. Порт Ізмаїл збільшив вантажообіг більш ніж у двічі, досягнувши 20,2 млн тонн, а порт Рені досяг вантажообігу у 10 млн тонн. Українські морські порти у 2024 році встановили новий рекорд, досягнувши вантажообігу у 97,2 млн тонн. Цей результат значно перевищує показник 2023 року (62 млн тонн) і є

свідченням успішного відновлення морської логістики, навіть в умовах складної геополітичної ситуації.

Ключові показники:

- Загальний вантажообіг – 97,2 млн тонн.

- Експорт – 88,1 млн тонн.

- Імпорт – 8,8 млн тонн.

Рекорди за категоріями вантажів:

- Зернові – 60,3 млн тонн як основна експортна продукція України.

- Рудні вантажі – 18,5 млн тонн.

Український морський коридор:

- Загальний вантажообіг – 79,9 млн тонн.

- Експорт у 52 країни світу – 76,4 млн тонн.

- Кількість суден – 3 138.

Функціонування коридору стало можливим завдяки безпеці, яку забезпечують Військово-морські сили ЗСУ, а також злагодженій роботі портів Великої Одеси.

Ефективність роботи українських портів безпосередньо залежить від рівня автоматизації, тому провідні дослідження в цій області допоможуть розвинути українську галузь і підняти її на новий рівень.

Автоматизоване управління базується на теорії інформації, теорії складних систем, теорії автоматичного керування, теорії прийняття рішень.

Сучасні проблеми управління характеризуються такими особливостями:

1. Зростання обсягів і масштабів виробництва, ускладнення матеріальних, а отже, й інформаційних зв'язків.

2. Значне зростання потоків інформації, швидкість надходження якої перевищує можливості її обробки людиною-керівником або особою, яка приймає рішення (ОПР).

3. Дефіцит часу при прийнятті рішень призводить до відсікання частини інформації, яка може бути корисною. Це може спричинити різке зниження якості прийнятих рішень і прийняття помилкових рішень. Помилки мають тим більші наслідки, чим вищий рівень ієрархії прийняття рішень.

4. Для виправлення наслідків помилкових рішень можуть знадобитися додаткові ресурси й час.

Дослідження [6] аналізує практики десяти провідних контейнерних портів, включно з Роттердамом, Сінгапуром і Гамбургом, у сферах автоматизації, екологічності та співпраці. Визначено, що платформи обміну даними, електричне обладнання в портах і трекінг контейнерів є майже універсальними елементами Smart-портів. Також описується, як європейські портові адміністрації активніше впроваджують інновації, тоді як оператори терміналів зосереджені на логістиці та обробці вантажів. Автори [7] описують, як термінали та порти інтегруються в глобальні ланцюги постачання та визначають стадії еволюції до концепції "Port 4.0". Через бібліометричний аналіз [8] досліджено зростання ролі Інтернет-технологій і автоматизації в морському секторі, зокрема цифрових платформ і AI-алгоритмів у портах. Окрема секція присвячена питанню енергоефективності: алгоритми оптимізації маршрутів і енергоспоживання вантажних операцій. Автоматизація охоплює не лише обладнання, а й аспекти кадрового розвитку проявів індустріальних трансформацій. У роботі [9] представлено комплексну архітектуру для Smart Port, яка інтегрує ключові компоненти: кібер-

фізичні системи (CPS), IoT, інтерфейси людина-машина та аналітику даних. Автори показують, як ця архітектура дозволяє портам повністю автоматизувати операції, значно знижуючи час реакції та підвищуючи видимість логістичних потоків. Окрему увагу приділено управлінню автономним рухом AGV, автономних вантажівок і аквадронів у межах порту за допомогою високоточних сенсорів та ITS. Запропоновано масштабовану архітектуру [10] на базі мікросервісів, побудовану за моделлю Web of Things, для реальної обробки IoT-даних у портах в режимі реального часу. Представлено вже реалізований прототип моніторингу якості повітря в портовому середовищі, який демонструє високу продуктивність і повторне використання компонентів у нових застосунках. Автори вказують на важливість стандартизованих інтерфейсів і модулярності для зручності модернізації та підтримки систем в умовах динамічних вимог.

Впровадження концепції автоматизації портових операцій дає можливість підвищити загальний рівень автоматизації портових операцій. Smart-порти стають платформами, де дані є ключовим ресурсом, а прийняття рішень відбувається на основі аналітики в реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни в обсягах перевезень, погодних умовах чи геополітичних викликах.

Таким чином, впровадження нових принципів автоматизації в портову сферу відкриває нові можливості для підвищення конкурентоспроможності, стійкості та екологічності портів, водночас вимагаючи комплексного та стратегічного підходу до трансформації традиційних логістичних моделей.

Портові операції та автоматизовані системи для їх обслуговування

Головним видом обладнання порта вважається перевантажувальні машини, що розташовуються на судах, на березі і на спеціальних плавучих платформах. Головним завданням цього виду обладнання є механізація процесу перевантаження.

Для ефективного обслуговування суден, що заходять до порту, необхідна наявність спеціалізованих засобів для бункерування, тобто постачання паливом. У великих портах з цією метою передбачені окремі бункерувальні причали. Для цього використовуються плавучі бункерувальники, які підходять до судна з боку вільного борту та подають паливо без зупинки вантажно-розвантажувальних операцій.

Окрім бункерувальників, сучасний порт обслуговується широким спектром суден портового флоту. Насамперед до них належать портові буксири, кількість і склад яких визначаються обсягами суднопотоку в конкретному порту. Крім того, в портах мають бути спеціальні аварійно-рятувальні судна – потужні морські буксири, обладнані системами осушення, протипожежними установками та буксирними лебідками.

До складу об'єктів та служб, що забезпечують експлуатаційні потреби порту, входять портові механічні майстерні, які здійснюють ремонт усіх типів портових перевантажувальних машин, виконують поточне технічне обслуговування суден портового флоту, автотранспорту, що належить порту, а також іншого допоміжного обладнання.

На сучасному етапі розвитку портової галузі у кожному морському басейні створюються централізовані, високомеханізовані будівельні заводи з автономними плавучими підрозділами, здатними виконувати будівельні та ремонтні роботи одночасно у кількох портах, що значно підвищує гнучкість і мобільність у реалізації інфраструктурних проєктів.

Кожен порт має систему пожежної безпеки, яка охоплює як об'єкти на суші, так і судна, що перебувають у порту. До складу пожежної охорони входять спеціалізовані пожежні судна, оснащені потужними насосними установками, системами водовідведення та піногенераторами для гасіння пожеж як на борту суден, так і на березі.

Виробничі машини та механізми становлять основу більшості технологічних

процесів, що застосовуються в портах. Значна частина таких машин оснащена автоматизованими електроприводами та пристроями електроавтоматики, що забезпечують ефективне управління їх роботою в умовах зростаючих вимог до продуктивності, енергоефективності та надійності.

Технологічні процеси суттєво різняться за своїм змістом і сферами застосування, однак ще більш різноманітними є виробничі машини та механізми, що реалізують ці процеси. Водночас можна виокремити групи виробничих машин і механізмів, які об'єднує спільність виконуваних функцій або принципів дії. До таких типових виробничих систем належать:

- турбомеханізми: насоси, вентилятори, турбокомпресори;
- вантажопідіймальні машини: крани, ліфти, шахтні підйомники тощо;
- транспортні машини: конвеєри, транспортери, ескалатори тощо;
- металообробні верстати;
- машини зі зворотньо-поступальним рухом: поршневі насоси та компресори, преси;
- екскаватори.

Перелічені виробничі машини є найбільш поширеними у базовій галузі порту. Хоча цей перелік не є вичерпним, він достатній для засвоєння базових принципів проєктування та розроблення автоматизованих електроприводів для машин різного функціонального призначення (рис. 2).

Ключовий вплив на режим роботи електропривода та відповідні технічні вимоги до нього чинить характер технологічного процесу. З огляду на це, всі виробничі машини та механізми поділяються на три основні групи: механізми безперервної дії, механізми циклічної дії та перервні (табл. 1).

У першій групі технологічний процес відбувається безперервно у часі, відповідно, електроприводи таких механізмів характеризуються рідкісними пусками, зазвичай не потребують реверсування або високої точності зупинки. У другій групі робочий процес складається з однакових, періодично повторюваних циклів, тож



Рисунок 2 – Типові виробничі механізми в порту

Таблиця 1 – Класифікація АСУТП за характером протікання керованого технологічного процесу в часі

Клас АСУТП	Кодовий індекс	Характер технологічного процесу
АСУ з неперервним технологічним процесом	н	Неперервний із тривалим підтриманням режимів, близьких до встановлених, і практично безупинним протіканням роботи
АСУ з неперервно-дискретним технологічним процесом	п	Поєднання неперервних і перервних режимів функціонування різноманітних технологічних агрегатів або на різних стадіях процесу (в тому числі періодичні процеси)
АСУ з дискретним технологічним процесом	д	Переривчастий із несуттєвою для керування тривалістю технологічних операцій

електроприводи мають забезпечувати часті пуски, реверсування, можливість точного позиціонування та регулювання швидкості. У третій групі робочий процес відбувається не систематично.

Залежно від типу технологічного процесу автоматизовані системи можуть відрізнятися. Структура системи управління може бути багаторівневою (структурою підпорядкування) [11].

Об'єкт управління (ОУ) — динамічна система будь-якої природи, що перетворює ресурси на продукти та знаходиться під дією керуючих і збудовуючих впливів. Збудовуючий вплив — вплив, що виводить систему у небажаний стан. Рішення (керуючий вплив, управління) — вплив, обраний із множини можливих на основі поставленої мети та прийнятого критерію.

Критерій — оцінка варіантів рішень. Мета — стан, до якого прагне система. Керуюча частина (КЧ) — частина системи, що виробляє рішення та передає їх об'єкту управління. Середовище — метасистема, до складу якої входить розглядувана система управління. Функціонування системи — робота системи в межах заданої структури. Розвиток системи — робота системи в умовах гострих суперечностей, які можуть спричинити зміну структури. Об'єкт управління використовує такі види загальних ресурсів: матеріальні, трудові, фінансові, устаткування.

При докладнішому розгляді процесів у керуючій частині можна отримати сукупність етапів (рис. 3). Ця схема придатна для ручного, автоматичного та автоматизованого управління.

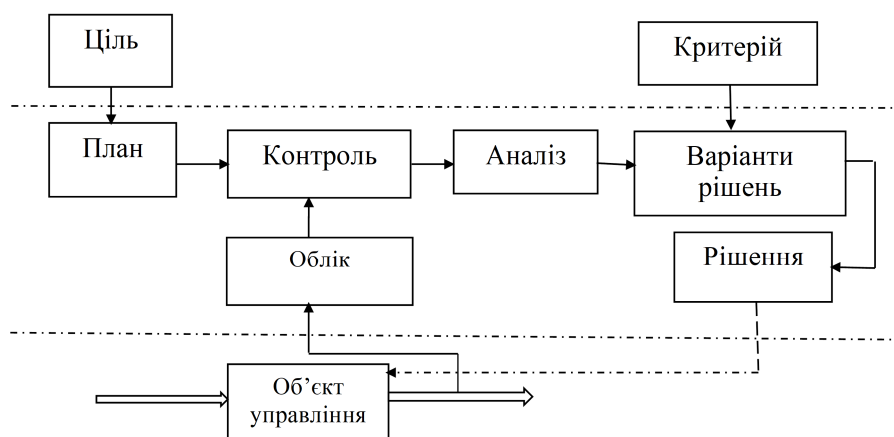


Рисунок 3 – Система циклічного управління

Добре відомі системи автоматичного керування, які працюють без участі людини. В основі автоматичного керування лежить керування окремими об'єктами на основі заданих алгоритмів, що реалізуються технічними засобами. Використовуються три принципи керування: розімкнений, замкнений (зворотний зв'язок), компенсація збурень. У міру розвитку автоматичного керування сформувалися його основні напрями: автоматичне регулювання (стабілізація), програмне керування, слідкуючі системи, екстремальне регулювання, пошукові системи, оптимальне керування, самопалагоджувані системи.

Однак впровадження автоматичних систем керування не дозволило повністю виключити людину з контуру керування, а тенденції розвитку суспільного виробництва, навпаки, ускладнили функції, які вона виконує. Ці причини, а також поява ЕОМ сприяли бурхливому розвитку автоматизованого керування, особливою якою є автоматизація комплексів процесів або об'єктів, включення людини в контур керування, інформаційний та імовірнісний підхід до процесу керування, використання ЕОМ як основного технічного засобу, що реалізує функції керування.

Схема, подана на рис. 3, дає змогу точніше визначити поняття «автоматизована система» як систему, в якій хоча б на одному етапі циклу керування використовуються комп'ютери й технічні засоби.

Очевидно, що можна виділити різні рівні автоматизації (режими роботи).

Найбільш відомі — інформаційно-пошуковий (рис. 4, а) та інформаційно-порадницький режими (рис. 4, б).

Інформаційно-пошукові системи — автоматизовані системи, призначені для збирання, пошуку, оброблення, збереження та видавання інформації за допомогою технічних засобів. До них належать: інформаційні масиви (бази та банки даних, інтернет-системи), носії інформації (магнітні, оптичні тощо), програмне й технічне забезпечення.

Інформаційно-порадницька система, своєю чергою, передбачає активну участь системи в процесі прийняття рішень, коли вона не лише надає інформацію, але й формує рекомендації на основі аналізу ситуації, моделей знань або закладених експертних правил. Цей режим базується на використанні алгоритмів штучного інтелекту, логічного виведення, машинного навчання або нечіткої логіки, що дозволяє адаптувати відповіді під конкретні умови запиту користувача.

Порівняння систем автоматизації портових операцій представлено в табл. 2.

У контексті портових операцій кожна з розглянутих систем виконує специфічні функції, що сприяють підвищенню ефективності та безпеки роботи порту. Система циклічного управління застосовується для автоматизації технічних процесів, зокрема для керування вантажно-розвантажувальними механізмами, плавучими кранами чи насосними станціями при бункеруванні суден. Вона забезпечує стабільне виконання операцій відповідно до заданих

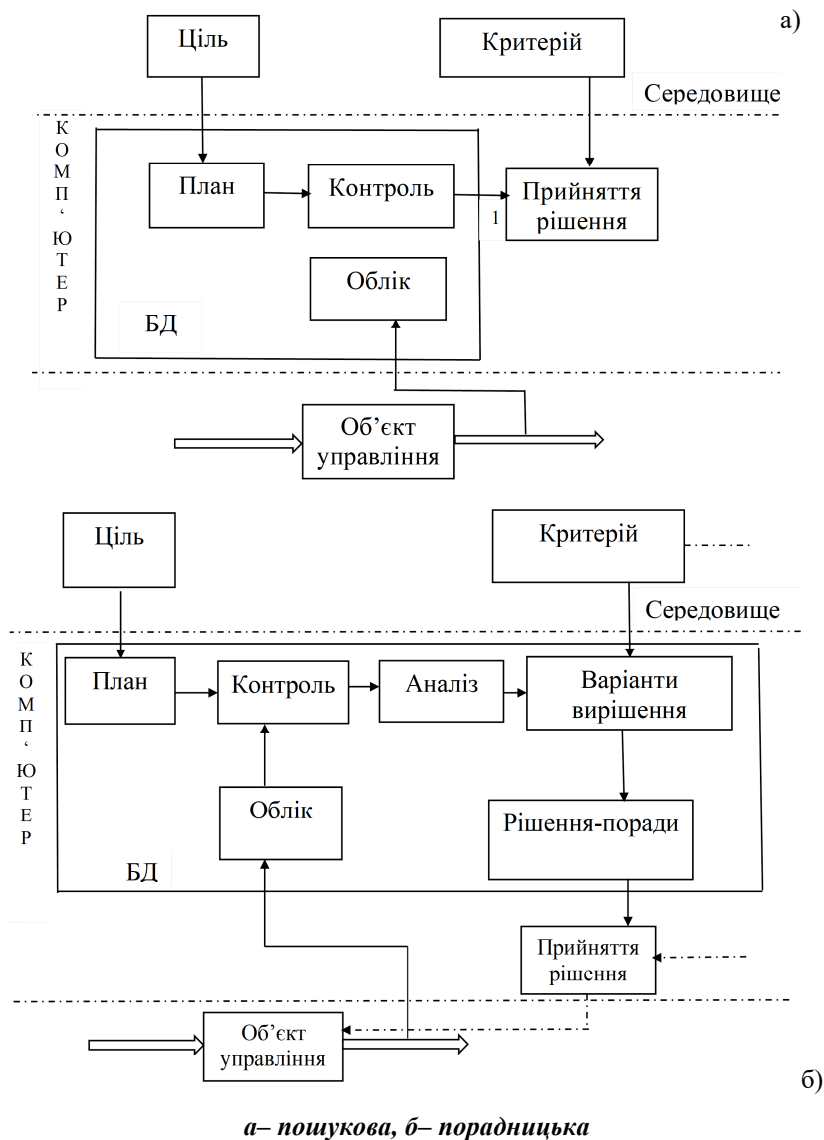


Рисунок 4 – Інформаційні системи

алгоритмів із врахуванням зворотного зв'язку або компенсації зовнішніх збурень.

Інформаційно-пошукові системи використовуються для збереження, обробки та швидкого доступу до логістичних даних — таких як графіки прибуття суден, розклад роботи терміналів, наявність вільних причалів, інформація про вантажі. Це дозволяє персоналу швидко знаходити необхідну інформацію серед великих обсягів портової документації.

Інформаційно-порадницькі системи інтегруються для підтримки прийняття управлінських рішень, наприклад, у ситуаціях розподілу портових ресурсів, реагування на надзвичайні ситуації (пожежі, аварії), оптимізації черговості обслуговування суден. Завдяки вбудованим алгоритмам штучного інтелекту такі системи можуть прогнозувати навантаження на інфраструктуру порту та надавати рекомендації щодо оптимального планування дій.

Висновки

Узагальнюючи проведений аналіз систем автоматизації в контексті портових операцій, можна зробити висновок, що інтеграція різних типів систем – циклічного управління, інформаційно-пошукових та інформаційно-порадницьких – є ключовою умовою підвищення ефективності, безпеки та адаптивності портової інфраструктури до сучасних викликів. Системи циклічного управління забезпечують стабільну роботу технічних засобів і

Таблиця 2 – Порівняння систем автоматизації портових операцій

Критерій порівняння	Система циклічного управління	Інформаційно-пошукова система	Інформаційно-порадницька система
Призначення	Автоматичне керування об'єктами за певними алгоритмами	Пошук, збір, збереження, обробка та видача інформації	Надання рекомендацій на основі аналізу ситуацій, знань або експертних правил
Основні принципи	Розімкнене керування, замкнене (зворотний зв'язок), компенсація збурень	Індексування, релевантний пошук, фільтрація інформації	Логічне виведення, машинне навчання, експертні системи, аналіз знань
Типи задач	Автоматичне регулювання, слідкування, стабілізація, самоналагодження	Виявлення потрібної інформації з великих масивів даних	Підтримка прийняття рішень, формування порад та варіантів дій
Методи реалізації	Технічні засоби автоматизації, системи керування процесами	Пошукові алгоритми, бази даних, веб-сервіси	Алгоритми штучного інтелекту, експертні системи, нейромережі, нечітка логіка
Вихідний результат	Виконання керуючого впливу на об'єкт	Видача релевантної інформації	Надання адаптованих порад або рішень
Характер взаємодії з користувачем	Автоматизоване керування з участю оператора та автоматичне без участі людини	Активна участь користувача у формулюванні запиту та виборі результату	Система пропонує варіанти рішень, користувач обирає або діє за рекомендацією
Технологічна база	Автоматизовані системи керування, сенсори, контролери, приводи	Бази даних, пошукові системи, індексація, веб-технології	Інтелектуальні системи, аналітичні модулі, експертні бази знань
Рівень складності реалізації	Середній або високий залежно від об'єкта керування	Відносно низький, якщо є доступ до структурованих даних	Високий — потребує знань, моделей, логіки виведення та гнучких алгоритмів

механізмів, зменшуючи ризики збоїв у технологічних процесах. Інформаційно-пошукові системи значно прискорюють доступ до критично важливих даних, сприяючи оперативному реагуванню на зміни в логістичних потоках. Інформаційно-порадницькі системи, ґрунтовані на методах штучного інтелекту, підсилюють управлінські можливості адміністрації порту, дозволяючи приймати обґрунтовані рішення навіть у складних і нестандартних умовах. Комплексне застосування цих систем формує основу для цифрової трансформації портів і сприяє їх сталому розвитку.

Подяки
Відсутні.

Конфлікт інтересів
Відсутній.

Список використаних джерел

1. Храпкіна В.В., Солоха Д.В., Белякова О.В., Гевко В.Л. Концепти інноваційного розвитку підприємництва: монографія. Національний університет "Київо-Могилянська академія", Київ. 2018. 263 с.
2. Решетков Д.М., Іванова І.М. Світовий досвід використання цифрових технологій у морських портах. Транспортні системи і технології: проблеми функціонування та розвитку портів. Том 6: монографія. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2021. 159 с.
3. Єрмакова О. Основи кластерного підходу до розвитку портової інфраструктури: стратегії, інновації та конкурентоспроможність. *Scientific journal "Modeling the development of the economic systems"* С. 273-279.
4. Кириллова О.В., Кириллова В.Ю., Магамадов О.Р. Поняття «smart port» у контексті глобальних тенденцій інтеграції інтелектуальних транспортних та інформаційних технологій у портовій індустрії. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Том 35 (74). № 5. 2024. С.81-87.
5. Перспективи розвитку інфраструктури портових терміналів України: монографія. Харків: Видавництво Іванченка І. С. 2021. 125 с.
6. Min, H. Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0. *Maritime Economics & Logistics*. 2022. 24(2), С. 309–329.doi: [10.1057/s41278-021-00210-5](https://doi.org/10.1057/s41278-021-00210-5)
7. Ortiz, Á., Ortiz, F., García-Domínguez, A., & Duro, R. J. A microservice architecture for real-time IoT data processing: A reusable Web of Things approach for smart ports. 2024. doi: <https://arxiv.org/abs/2401.15390>
8. Herremans, D., Vingerhoets, K., Stevens, N. Autonomous port navigation with ranging sensors using model-based reinforcement learning. 2023. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2312.05257>
9. Wang, Y., Qu, X. Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*. 2020. 18. 100134. doi:[10.1016/j.jii.2020.100134](https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100134)
10. Perera, S., Nguyen, H. T., Perera, S., Keraminiyage, K. Innovation in smart ports: Future directions of digitalization in container ports. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. 10(12). 1925.doi: [10.3390/jmse10121925](https://doi.org/10.3390/jmse10121925)
11. Пількевич І.А., Молодецька К.В., Сугоняк І.І., Лобанчикова Н.М. Основи побудови автоматизованих систем управління. Навчальний посібник. Житомир Вид-во ЖДУ ім. І. Франка 2014. 178 с.

References

1. Khrapkina V.V., Solokha D.V., Bieliakova O.V., Hevko V.L. Kontsepty innovatsiinoho rozvytku pidpriemnytstva: monohrafiia. Natsionalnyi universytet "Kyivo-Mohylianska akademiia", Kyiv. 2018. 263 p.
2. Reshetkov D.M., Ivanova I.M. Svitovyi dosvid vykorystannia tsyfrovyykh tekhnolohii u morskykh portakh. Transportni systemy i tekhnolohii: problemy funktsionuvannia ta rozvytku portiv. Tom 6: monohrafiia. Odesa: KUPRIENKO SV. 2021. 159 p.
3. Iermakova O. Osnovy klasternoho pidkhodu do rozvytku portovoi infrastruktury: stratehii, innovatsii ta konkurentospromozhnist. *Scientific journal "Modeling the development of the economic systems"* P. 273-279.
4. Kyryllova O.V., Kyryllova V.Iu., Mahamadov O.R. Poniattia «smart port» u konteksti hlobalnykh tendentsii intehtratsii intelektualnykh transportnykh ta informatsiinykh tekhnolohii u portovii industrii. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky*. Tom 35 (74). № 5 2024. P.81-87.
5. Perspektyvy rozvytku infrastruktury portovykh terminaliv Ukrainy: monohrafiia. Kharkiv: Vydavnytstvo Ivanchenka I. S. 2021. 125 p.
6. Min, H. Developing a smart port architecture and essential elements in the era of Industry 4.0. *Maritime Economics & Logistics*. 2022. 24(2), P. 309–329.doi: [10.1057/s41278-021-00210-5](https://doi.org/10.1057/s41278-021-00210-5)
7. Ortiz, Á., Ortiz, F., García-Domínguez, A., & Duro, R. J. A microservice architecture for real-time IoT data processing: A reusable Web of Things approach for smart ports. 2024. doi: <https://arxiv.org/abs/2401.15390>

8. Herremans, D., Vingerhoets, K., Stevens, N. Autonomous port navigation with ranging sensors using model-based reinforcement learning. 2023. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2312.05257>
9. Wang, Y., Qu, X. Industry 4.0 in the port and maritime industry: A literature review. *Journal of Industrial Information Integration*. 2020. 18. 100134. doi: [10.1016/j.jii.2020.100134](https://doi.org/10.1016/j.jii.2020.100134)
10. Perera, S., Nguyen, H. T., Perera, S., Keraminiyage, K. Innovation in smart ports: Future directions of digitalization in container ports. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. 10(12). 1925. doi: [10.3390/jmse10121925](https://doi.org/10.3390/jmse10121925)
11. Pilkevych I.A., Molodetska K.V., Suhoniak I.I., Lobanchykova N.M. Osnovy pobudovy avtomatyzovanykh system upravlinnia. Navchalnyi posibnyk. Zhytomyr Vyd-vo ZhDU im. I. Franka 2014. 178 p.

AUTOMATED SYSTEMS IN MEASUREMENT AND MANAGEMENT OF PORT OPERATIONS

Andrii Topalov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

76019, 15 Karpatska St., Ivano-Frankivsk, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-2745-7388>

e-mail: topalov_ua@ukr.net

Abstract. The article presents the results of the analysis of automated systems used in port activities, with an emphasis on their functionality, advantages and feasibility of use in the context of digital transformation. Three key types of systems are considered: cyclic control systems, information search and information advisory systems. Cyclic control systems can ensure the performance of operations related to loading, unloading, transportation of goods and movement of technical equipment, etc. Their application is based on the use of closed and open control algorithms that allow stabilizing the parameters of technological processes and promptly compensating for external disturbances. Information search systems are focused on processing large volumes of data related to logistics, the state of technical equipment, the schedule of vessel acceptance, etc. Their implementation provides operational access to information for port personnel and administration. Information and advisory systems, in particular based on artificial intelligence, increase the level of support for management decisions, forming recommendations taking into account situation analysis, expert knowledge and changes in the external environment. The article substantiates the need for comprehensive implementation of these systems in order to increase the efficiency of port operations, reduce the impact of the human factor, improve resource management and ensure the sustainable functioning of port infrastructure. Taking into account modern trends, such as digitalization and automation, allows the port to effectively adapt to dynamic changes in the global transport environment. The proposed approaches can be used as a basis for the modernization of information and management systems of seaports, taking into account their specific needs and technical conditions.

Keywords: automation, port infrastructure, measurement, control, system, structure, digital technologies, computer network.