

10.31653/smf47.2023.46-54

Крупов І.В.

Національний університет «Одеська морська академія»

АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ЗЕМСНАРЯДАМИ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Процес днопоглиблення є важливою галуззю для гірничо-будівельних робіт, а автоматизація цього процесу може призвести до підвищення продуктивності та зменшення потреби у людському персоналі. Однак, автоматизація стикається з численними технічними та інженерними викликами, особливо управлінням якірними землесосами при малій швидкості. Під час днопоглиблення, точність утримання на курсі та контроль над робочими параметрами ґрунту і води відіграють вирішальну роль у забезпеченні безперервності та ефективності процесу. Основним викликом є розробка та інтеграція систем датчиків автоматичного контролю, які б забезпечували точне вимірювання та моніторинг параметрів ґрунту, тиску, вакууму, тяжіння, товщини ґрунту, а також витрати робочого середовища. Крім цього, системи автоматичного управління земснарядами повинні забезпечувати автоматичну реакцію на різноманітні ситуації, такі як забитий всмоктуючий отвір, забій напірної частини ґрунтопровода чи зміна зовнішніх умов під час роботи.

Іншим важливим аспектом є розвиток систем автоматичного регулювання землесоса (САРЗ), які дозволили б автоматично контролювати швидкість руху снаряда в залежності від геологічних умов та потреби в заборі ґрунту. Це вимагає розробки алгоритмів та програмного забезпечення для ефективного управління рухом землесоса.

Наприклад, системи орієнтації, такі як "Автоствір", потребують подальших досліджень для поліпшення точності та надійності їхньої роботи. Узагальнюючи, автоматизація систем днопоглиблення створює численні технічні завдання та вимагає комплексного підходу до розробки та імплементації систем датчиків, контролю та управління для забезпечення ефективної та безперервної роботи процесу днопоглиблення.

Запит практики. Наукова стаття описує важливі технології та системи по автоматизації днопоглиблення. Її практична значимість полягає у підвищенні продуктивності, зниженні ризиків аварій, оп-

тимізації ресурсів та покращенні точності даних, що сприяє більш ефективній та безпечній роботі в галузі судноплавства.

Об'єкт дослідження: процес днопоглиблення у морських умовах.

Предмет дослідження: технології, системи та датчики для автоматизації та покращення ефективності днопоглиблення, включаючи манометри, вакуумметри, тягоміри, шароміри, ґрунтметри та витратоміри, а також системи автоматичного управління та орієнтації суднових технічних засобів для цього процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стаття [1] містить аналіз систем реального часу керування земснарядями, заснованих на штучних нейронних мережах. Розглядаються різні аспекти управління, включаючи точність, стабільність та ефективність роботи системи з використанням нейронних мереж. Досліджуються переваги та обмеження реалізації таких систем та пропонуються рекомендації щодо їх подальшого розвитку.

У статті [2] проводиться аналіз продуктивності пропорційно-інтегрально-диференціального (PID) контролера для управління рухом механізму під'єму екскаватора (руки). Автори досліджують параметри контролера та аналізують відгук руки екскаватора на різні вхідні сигнали. Оцінюються показники ефективності та стабільності роботи контролера та пропонуються рекомендації щодо його оптимізації.

У статті [3] проводиться аналіз систем «наглядного керування» для автономних земснарядів. Досліджуються процеси координації та прийняття рішень пов'язані з автономними операціями земснарядів. Розглядаються техніки планування маршруту, уникнення перешкод та пріоритизації завдань. Аналізуються переваги та обмеження систем наглядного управління та пропонуються можливості для їх покращення.

У статті [4] наведено аналіз адаптивних систем управління для операцій ковша земснаряду. Досліджуються алгоритми адаптивного керування, які оптимізують продуктивність копання, регулюючи параметри, такі як сила копання, траєкторія та глибина. Аналізуються переваги та обмеження адаптивних систем управління та пропонуються рекомендації щодо їх застосування та розвитку.

У статті [5] представлено розробку автоматизованої системи моніторингу та управління для днопоглиблювальних земснарядів. Опи-

сується архітектура системи та методики управління параметрами процесу.

У статті [6] розглядається моделювання системи автоматичного керування днопоглиблювальним земснарядом з використанням системи «Автоствір»

Подано динамічну модель [7] днопоглиблювального обладнання на основі бонд-графів та аналіз її параметрів.

У статті [8] описується розробка та застосування системи автоматичного управління днопоглиблювальним земснарядом.

Статті [9-13] пропонують детальний аналіз та дослідження в галузі автоматичного управління днопоглиблювальними земснарядами. Вони охоплюють різні аспекти, включаючи розробку експертних систем, застосування алгоритмів машинного навчання, оптимізацію процесів з використанням генетичних алгоритмів та створення автоматизованих систем керування для підвищення ефективності операцій.

Ці статті представляють цінну інформацію про різні аспекти систем автоматичного керування земснарядами. Дослідження, представлені у зазначених статтях, допомагають зрозуміти основні принципи, переваги та виклики, пов'язані з розробкою та оптимізацією систем автоматичного управління земснарядами.

Виклад основного матеріалу. Процес днопоглиблення характеризується великою кількістю змінних параметрів. При високій потужності сучасних земснарядів і доступності ряду засобів контролю, керування та управління, оператор (судноводій) не завжди може оптимально управляти процесом та досягти максимальної продуктивності управляючих об'єктів.

На сьогоднішній день на всіх снарядах вже автоматизований процес забору ґрунту : потужні снаряди оснащені системами автоматичного переміщення. Спеціалістам найлегше оптимізувати рухи при допомозі свайно-попільонажних землесосів, а також при роботі великими траншеями. Автоматизація дозволяє підвищити продуктивність днопоглиблювальних снарядів та зменшити чисельність екіпажу. Проте автоматизація управління якірними землесосами, особливо при роботі великими траншеями, викликає певні труднощі через недосконалість консистометрів (ґрунтотомірів).

До основних датчиків входять манометр, вакуумметр, тягомір для керування лебідкою, шаромір, ґрунтотомір та витратомір. Системи регулювання продуктивності землесосів базуються на зміні швидко-

сті руху снаряда, яку отримують від трьох-чотирьох датчиків, що контролюють режими забору ґрунту та гідротранспорту. Вимірювання швидкості підняття (вибирання) операційних канатів, яке виконується при русі по траншеї і боковому русі (при переміщенні по папільонажній стрічці), здійснюється за допомогою тягоміра або швидкісного вимірювача, який вимірює швидкість піднімання каната.

У річкових траншейних снарядах широко використовуються системи автоматичного регулювання землесоса (САРЗ), де швидкість руху снаряду встановлюється оператором вахтовим багермейстером в залежності від розрахункового насичення пульпи ґрунтом, а САРЗ підтримує цей режим. У разі сигналу про засмічення всмоктуючого отвору або наявності ознак забою напірної частини ґрунтопровода, рух земснаряду в траншеї автоматично зупиняється. Якщо всмоктування ґрунту, який обвалився, відбувається після сигналу "завал", то система автоматично відновлює рух снаряда в траншеї.

Автоматизація технологічного процесу днопоглиблення передбачає включення автоматичного вибору оптимального режиму для приводу черпака або ґрутонагнітаючої установки і автоматичного переміщення снаряда, що відповідає цьому режиму. Серед відомих систем САРЗ варто виділити "Волгу" і "Шар".

Тому для аналізу обраний модернізований земснаряд «HEGEMANN- IV» (Німеччина).

Судно повністю забезпечене навігаційним обладнанням, що дозволяє якісно утримувати його на позиції та виконувати днопоглиблювальні роботи (рис 1).

Рубка судна ергономічна та комфортна, як для роботи, так і для короткочасного відпочинку (рис 2).

На містку встановлено: 1-ин монітор з електронними навігаційними картами; 2-а монітори навігаційного радара; відповідні датчики (від швидкості перекладки керма і кута повороту пера керма, щільності та швидкості прийому вантажопотоку ґрунта), планшет для утримання судна на ділянці.

Повністю запрограмований інтерфейс керує всіма системами судна з капітанського (операторського) містка рубки. Як штурман-судноводій, так і оператор-багермейстер мають ідентичні панелі приладів і взмозі автономно один від одного виконувати функції з навантаження/розвантаження судна та бункерування його запасами (рис 3).

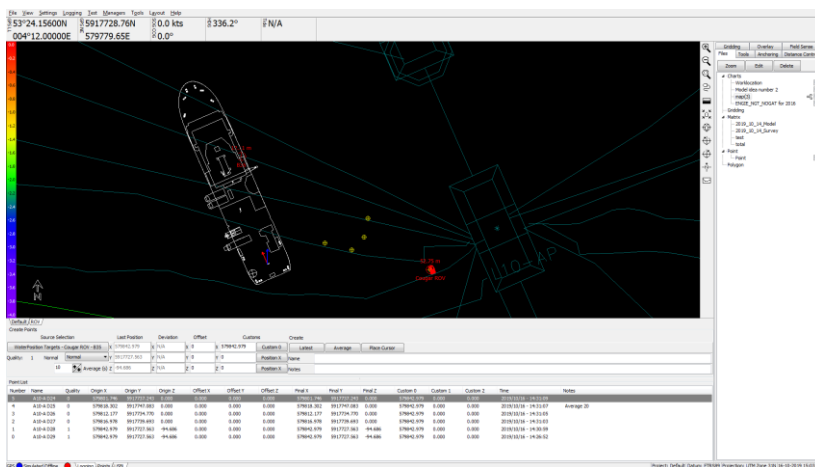


Рис. 1. Точки попередження

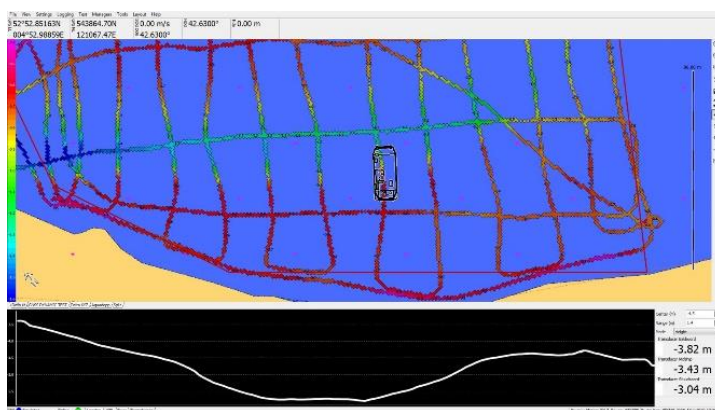


Рис. 2. Створення сітки точок проміру

Достатня кількість засобів УКХ зв'язку, GPS навігатори забезпечують роботу авторульового приладу. Завдяки цьому судно досить добре утримується на курсі як при переході морем, так і при роботі на ділянці ґрунтозабору (рис. 4).

Панель авторульового виведена як до місця штурмана, так і до місця оператора. Окремо встановлений в рубці телеграф з високою швидкістю дозволяє переключати лопаті гвинта для дачі ходу «вперед» та реверсу «назад». Запуск головних та допоміжних двигунів і систем «з містка».

На містку також розташований окремий інтерфейс керування комп'ютерами, насосами і, відповідно, всіма клінкетами, які розта-

шовані на верхній палубі та забезпечують роботу з навантаження / розвантаження судна, а також освітлення та висвітлення цього технологічного процесу.

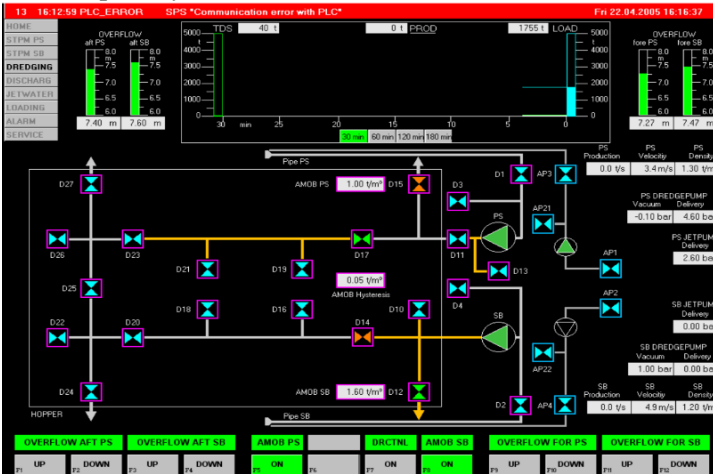


Рис. 3. Операція з виймки ґрунту

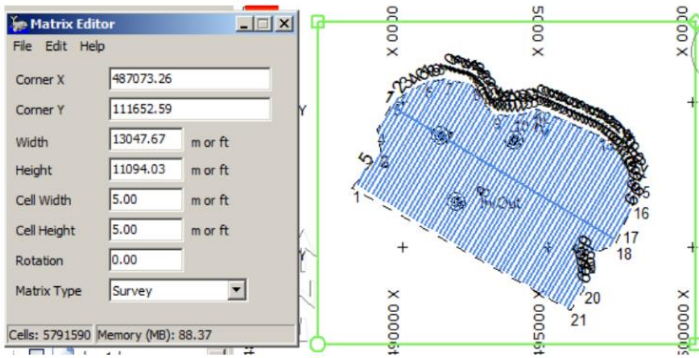


Рис. 4. Створення матриці ґрунтозабор

У складі обладнання «містка» розташовані системи: тривога, датчиків, які контролюють усі процеси у машинному відділенні, телефони та кермові машини.

Офісна частина рубки містить: постійний інтернет Starlink зв'язок, апаратуру GMDSS, приймач NAVTEX, навігаційний стіл з комплектом карт, бібліотеку Усіх сучасних посібників та міжнародних конвенцій.

Після виходу судна штурманом на галс з похибкою у 60, 50, 40 см, оператор опускає всмоктувачі земснаряда на задану глибину і, регулюючи їхнє заглиблення, направляє подачу води ґрунторозмивними насосами до місця ґрунтозабору. Безпосередньо у трюмі судна знаходиться шість клінкетів: три – по лівому борту і три – по правому.

Включаючи клінкети одночасно або в певній послідовності, регулюється процес рівномірного завантаження трюму. Швидкість руху судна від 1,0 до 3,0 вузлів, термін проходження по ділянці 1,5...2,0 год. Після цього судно рухається до звалища для розвантаження.

Процес ґрунтозабору починається з того, що оператор заздалегідь готує апаратуру до роботи. Запускає дизеля або дизель-генератори й насос подачі заборотної води, окремий дизель-генератор для живлення водострумевих насосів, флеш-насоси для отлива сальника на валах днопоглиблювальних pomp. Підготовчий термін триває 5...10 хв. залежно від температурного режиму роботи. Днопоглиблення може здійснюватися на глибину до 22 метрів, а з додатковими насадками – до 25 метрів.

Сучасна система автоматизованого управління снарядом включає в себе систему автоматичної орієнтації з використанням лебідок. Наприклад, система орієнтації "Автоствір" працює на основі радіофазного методу вимірювання відстані за допомогою лазерної техніки.

Використання лазерних створів під час роботи на підходах до портових каналів протягом практично півстоліття підтвердило свою надійність і точність в системі орієнтації снарядів в будь-який час доби. Застосування лазерних створів під час роботи на підходах до портових каналів дозволило зменшити робочу ширину каналу з проектною 4,0 м до 1,5 м, що становить майже у 3 (2,7) рази менше.

Система «днопоглиблення» складається, в свою чергу, з трьох підсистем: «орієнтація», «ґрунтозабір» та «управління допоміжними операціями». Перші дві підсистеми вимірюють продуктивність снаряду і автоматично управляють електроприводом станової лебідки з метою забезпечення максимально можливою продуктивністю снаряду в даних умовах експлуатації. Остання підсистема автоматизує процеси переходу снаряду з траншеї на траншею, з серії на серію, ухід з прорезу для пропуску суден і повернення на попереднє місце

знаходження, управління кінцевим понтоном плавучого трубопроводу, тощо.

Висновки і перспективи подальших досліджень. В результаті проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

Автоматизація процесу днопоглиблення являє собою важливу галузь розвитку морської та гідротехнічної інфраструктури, яка сприяє підвищенню ефективності та зниженню ризиків при виконанні багермейстерських робіт.

Датчики, такі як манометри, вакуумметри, тягоміри, шароміри, ґрунтометри та витратоміри, відіграють ключову роль у зборі даних про параметри ґрунту та стан робочого середовища. Їхня інтеграція в систему автоматичного управління забезпечує надійний контроль процесу.

Системи автоматичного регулювання землесосів (САРЗ) дозволяють ефективно керувати швидкістю снаряда, що особливо важливо при днопоглиблення з використанням якірних землесосів та роботі з малою швидкістю руху.

Системи орієнтації, такі як "Автоствір", забезпечують високу точність позиціонування снаряда, що сприяє більш ефективному виконанню робіт на ґрунті.

Програмне управління земснарядами надає можливість гнучко налаштовувати робочі процеси та досягати оптимальних результатів суднового обаднання.

Автоматизація процесу днопоглиблення сприяє зниженню ризику аварійних ситуацій, оптимізації продуктивності та забезпечує надійну та безперебійну роботу суден та землесосів.

Дослідження підкреслює перспективність та актуальність автоматизації днопоглиблення у сучасній морській та гідротехнічній індустрії, що сприяє покращенню умов виконання робіт та зниженню екологічних ризиків.

Перелік використаних джерел

1. Lee S., Kim H., Park J. Analysis of Real-Time Control Systems for Excavators Based on Artificial Neural Networks // International Journal of Control, Automation, and Systems. – 2016. – Vol. 14. – № 3. – P. 659-670.

2. Zhang L., Lee C., Kwan C. Performance Analysis of Proportional Integral Derivative (PID) Controller for Excavator Arm Movement //

IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2014. – Vol. 61. – № 5. – P. 2338-2346.

3. Chen W., Feng Y. Analysis of Supervisory Control Systems for Autonomous Excavators // Robotics and Autonomous Systems – 2013. – Vol. 61. – № 3. – P. 245-258.

4. Wang H., Guo Y., Zhou B. Analysis of Adaptive Control Systems for Excavator Bucket Operations // Journal of Control Science and Engineering. – 2011. – Vol. 11. – P. 13-19.

5. Tang J., Wang Q., Zhong T. Automatic monitoring and control system for cutter suction dredgers // Ocean Engineering. – 2009. – Vol. 36. – № 17-18. – P. 1273-1281.

6. Li S., Liu Y., Huang D. Modeling of automatic control system for cutter suction dredger based on improved particle swarm optimization algorithm // Ocean Engineering. – 2015. – Vol. 110. – P. 55-62.

7. Chen X., Zhang Y., Qin H. Dynamic modeling and analysis of an earthmoving equipment based on bond graph // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 19580-19592.

8. Tian Y., Li H., Chen X. Design and application of automatic control system for cutter suction dredger // Ocean Engineering. – 2021. – Vol. 228. – P. 108782.

9. Doe J. Automation of Dredging Operations: Development and Implementation of an Expert Control System // International Journal of Dredging Engineering. – 2019 – Vol. 10. – № 3. – P. 1-14.

10. Smith A. et al. A Hierarchical System for Monitoring and Control of Cutter Suction Dredgers // Proceedings of the IEEE Conference on Control Applications. – 2018. – P. 917-924.

11. Johnson B., Brown C. Intelligent Control System for Dredging Equipment Based on Machine Learning Algorithms // Journal of Automation in Construction. – 2016. – Vol. 27. – P. 24-38.

12. Wilson D. et al. Analysis and Optimization of Automated Dredging Processes using Genetic Algorithms // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2019. – Vol. 35. – P. 205-218.

13. Thompson E., Davis F. Design and Implementation of an Automated Dredging Control System for Improved Efficiency // Journal of Navigation. – 2019. – Vol. 72. – №. 4. – P. 925-938.