

10.31653/smf47.2023.82-96

Малахов О.В., Маслов І.З., Найденов А.І., Генчев В.В., Мазур Т. М.

Національний університет “Одеська морська академія”,
Дунайський інститут Національного університету “Одеська морська академія”

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНОГО ФЛОТУ

Вступ. При експлуатації сучасних суден днопоглиблювального флоту реалізується видобуток більшої частини світової обсягу нерудних будівельних матеріалів. Саме за рахунок цих суден щорічно на шельфі США видобувають 500 млн. т, а Японії 67 млн. т. [1-2]. Продуктивність сучасних суден днопоглиблювального флоту характеризуються високими значеннями і доходять до 15000 м³/год по пульпі, що видобувається. Цим значенням під час проведення робіт відповідає концентрація ґрунту в пульпі 30-75%.

Постановка проблеми. Модернізація технологій, що використовуються для вивантаження доставленого ґрунту при своєму правильному використанні може призвести до істотного зниження простоїв судна на місці складування [3]. Як очікуваний головний результат таких досліджень можна виділити можливість вивантаження всього перевезеного ґрунту без баластових трюмних залишків. При цьому можна констатувати, що в даний час практично повністю відсутні технічні засоби і технології, що дозволяють руйнувати ущільнений ґрунт безпосередньо в ході розвантаження трюмів на судах днопоглиблювального флоту.

При аналізі властивостей ґрунтів, що розробляються, доцільно використовувати їх стандартну класифікацію за класами. Вона базується на труднощі розробки ґрунту і включає I – VII класи. Основою для такої класифікації ґрунтів є їх гранулометричний склад, прилипання та міцність. Зазначені три технологічні параметри безпосередньо визначаються щільністю та консистенцією ґрунту в умовах його природного залягання.

Усі відомі способи промислового руйнування ущільненого поверхневого шару ґрунтової поверхні є механічними та характеризуються великими енергетичними витратами. Залежно від способу застосування механічного навантаження до ґрунту їх можна поділяти на вібраційні, вібраційно-ударні, ударні та фрезерні.

Найбільш якісно, і з найменшими енергетичними витратами, процес руйнування ґрунту може відбуватися у тому випадку, коли швидкість силового впливу виконавчого елемента перевищує або є порівнянною зі швидкістю розповсюдження пластичних деформацій у ґрунті.

У ході аналізу всіх технологій видобутку, транспортування та вивантаження ґрунту суднами днопоглиблювального флоту було отримано висновок про те, що проблема руйнування ущільненого поверхневого шару ґрунту залишається, як і раніше, не вирішеною, а існуючі технічні пристрої не дозволяють одночасно обробляти всю площу ущільненого поверхневого шару з підготовкою ґрунту до його подальшого транспортування. На підставі цього висновку були сформульовані основні завдання досліджень, які полягали у розробці нової технологічної схеми видобутку та транспортування ґрунту при роботі суден днопоглиблювального флоту та розробці нових технологічних схем підвищення продуктивності суднової системи розмиву ґрунтової пульпи.

У ході попередньо виконаних досліджень було зроблено висновок про доцільність використання комбінованого способу сепарування води та ґрунту. Такий спосіб повинен об'єднувати в собі технічні рішення, що найбільш просто реалізуються, а саме:

- використання гідромеханічних характеристик рухомої суміші ґрунту з водою для первинного відбору незв'язаної з ґрунтом води;
- механічний віджимання пульпи для отримання потрібного залишкового вмісту води в ґрунті;
- аерування ґрунту з отриманням рівномірної консистенції під час завантаження в шаланду пневмотранспортом.

Аналіз досліджень і публікацій. З технічної точки зору одним із найбільш зручних пристроїв для розпушування ґрунту може бути техніка, що використовує струмені високого тиску [4]. На таких струменях рух рідини чи газу обмежено поверхнею тангенціального розриву, де спостерігається розрив таких характеристик потоку, як швидкість, температура, концентрація домішки тощо. За рахунок такого тангенціального розриву відбувається поперечна передача кількості руху від струменя до навколишнього простору. Одним із джерел струменів високого тиску може виступати гідравлічний удар – спрямована ударна хвиля високого тиску. В області ґрунтозабору напрям руху ударної хвилі може, як збігатися, так і бути протилежним до потоку, що рухається.

Відповідно до теорії струменів під час гідравлічного удару під час руху ударної хвилі всередині трубопроводу з абсолютно жорсткими стінками її параметри пов'язані між собою законами збереження маси, імпульсу та енергії, тобто.

$$\rho_0(\bar{C} - \bar{V}_0) = \rho(\bar{C} - \bar{V}) \quad (1)$$

$$P - P_0 = \rho_0(\bar{V} - \bar{V}_0)(\bar{C} - \bar{V}_0) \quad (2)$$

$$E - E_0 = \frac{P + P_0}{2} \left(\frac{1}{\rho_0} - \frac{1}{\rho} \right) \quad (3)$$

де ρ_0 , P_0 , V_0 , E_0 – відповідно щільність, тиск, масова швидкість та внутрішня енергія одиниці маси робочого середовища перед фронтом ударної хвилі, а ρ , P , V , E – аналогічні величини за фронтом ударної хвилі; C – швидкість руху ударної хвилі.

При заданні рівняння стану середовища та зв'язку внутрішньої енергії з параметрами, що визначають стан речовини, можна побудувати адиабату Гюгонію, що зв'яже ударний тиск із щільністю речовини. Для конденсованих речовин такий зв'язок має вигляд

$$P = \frac{\rho_0 C_a^2}{n} \frac{\sigma^n \left(h - \frac{n+1}{n-1} \right) + \sigma \frac{2n}{n-1} - (h+1)}{h - K\sigma} \quad (4)$$

де $\sigma = \frac{\rho}{\rho_0}$ – величина стиснення (для води $\sigma=1$); h – показник політропи;

K – коефіцієнт пористості речовини; C_a – коефіцієнт, що враховує внутрішню структуру речовини (для заліза $C_a=4650$ м/с, для пористих ґрунтів $C_a=1000 - 2300$ м/с).

Розв'язання задачі про взаємодію ударної хвилі, що виникла при гідравлічному ударі з щільним і пористим ґрунтом, показало, що з урахуванням співвідношення

$$(\rho C)_{\text{плот.ґрунт}} > (\rho C)_{\text{порист.ґрунт}} > (\rho C)_{\text{вода}} \quad (5)$$

при відображенні ударної хвилі від щільного ґрунту виникає тиск P_a , а від пористого ґрунту P_b . Виходячи з співвідношення акустичної жорсткості щільного і пористого ґрунтів виходить, що $P_b > P_a$. Інакше кажучи, наявність пір у ґрунті призводить до підвищення тиску відбиття, тобто шар ґрунту, що розробляється, буде сприймати мен-

ше ударне навантаження. Якщо розмір пір в ґрунті є великим, то ударна хвиля буде приводити до їх повного схлопування, що виразиться в ще більшому значенні величини P_b .

Крім руйнування ґрунту дуже важливим питанням є концентрація ґрунтової пульпи, яка подається в трюм або шаланду для свого подальшого транспортування. Чим нижче концентрація води в такій суміші, тим більш рентабельною буде робота судна.

Постановка завдання. На підставі вище викладеного було сформульовано головне завдання досліджень. Воно полягає у розробці та визначенні головних експлуатаційних та технологічних показників установки для сепарування ґрунтової пульпи під час проведення робіт суднами днопоглиблювального флоту.

Основні матеріали дослідження. Розроблена в ході досліджень технологічна схема сепарації ґрунтової пульпи показана на схематичному рисунку 1. Основна енергія, необхідна для роботи сепараційної установки, передається ґрунтовій пульпі при її підйомі на борт судна ґрунтовим насосом 1. По підхідному ґрунтопроводу 2 пульпа надходить в циклонну камеру де за рахунок обертання потоку відбувається первинний поділ води та ґрунту. У верхній центральній частині циклону трубопроводом відведення сепарованої води 4 за рахунок роботи допоміжного насоса 5 відбувається відбір освітленої пульпи. З нижньої частини циклону ґрунт із залишковою водою потрапляє у вузол механічного віджимання 6. Його основними елементами є гвинт, що обертається на малих обертах, і жорсткі стінки корпусу. Оскільки на всіх земснарядах привід має резерв потужності, швидкість обертання віджимних гвинтів можна встановлювати в будь-якому технологічно необхідному діапазоні. У нижній частині вузла механічного віджимання 6 передбачена установка піддону з перфорованими ґратами, через які видаляється залишкова вода. За рахунок регулювання прохідного робочого перерізу вузла 6 і числа оборотів віджимного гвинта у оператора з'являється можливість управління головними характеристиками суднової установки сепарації - її продуктивністю і концентрацією залишкової води в ґрунті, що сепарується. Таке управління надалі незмінно буде проявлятися у підвищенні ефективності експлуатації земснаряду та зниженні загальної вартості днопоглиблювальних робіт.

Вузли сепарації, що встановлюються при ремонті судна, можуть виступати єдиними технічними пристроями, які принципово змінюють вартісні і технологічні показники днопоглиблювальних робіт, що

проводяться земснарядами. При поточній експлуатації транспортних систем суднового землесосу розроблений гідромеханічний вузол сепарації повинен мати малий енергоспоживання, оскільки у своїй роботі він використовує додаткову енергію тільки на етапі остаточного віджимання ґрунту.

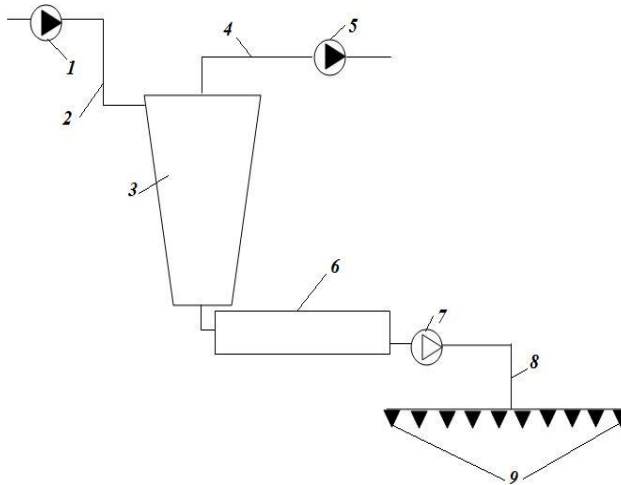


Рис. 1. Принципова схема вузла сепарації пульпи

1 – судновий ґрунтовий насос; 2 – підхідний ґрунтопровід; 3 – циклонна камера; 4 – трубопровід відведення сепарованої води; 5 – допоміжний насос; 6 – вузол механічного віджимання; 7 – компресор високого тиску; 8 – пневмолінія; 9 - розпилювальні сопла.

Основні умови теоретичного та фізичного моделювання процесу гідродинамічного поділу пульпи на складові були отримані з використанням відомої в теорії подібності π -теореми.

Процес руху пульпи із закруткою в циклоні визначається набором наступних фізичних величин: швидкістю основного потоку на виході з соплового апарату яка одночасно є кутовою швидкістю потоку в камері V , щільністю пульпи ρ , її в'язкістю μ , кутом конусності робочої камери циклону α , висотою робочої камери h , вихідним діаметром робочої камери циклону d . Шляхом зіставлення розмірності зазначених величин отримуємо їхню комбінацію в загальному вигляді

$$Q = f(V, \rho, \mu, \alpha, h, d) \quad (6)$$

Розглядаючи функціональну залежність (6) було виділено три основні розмірності, що входять до неї – $кг, с, м$ кг, с, м. Додатковою розмірністю є $град$. Число безрозмірних комплексів, що характеризують процес сепарації пульпи, визначиться як

$$M = i-z = 6-3 = 3 \quad \text{або} \quad [V^{x_1} \rho^{x_2} \mu^{x_3} \alpha^{x_4} h^{x_5} d^{x_6}] = Q \quad (7)$$

Аналіз функціонального зв'язку (7) у комбінації зі зрівнюванням з розмірностями вихідних параметрів показав, що при моделюванні процесу гідродинамічної сепарації ґрунту під час фізичних експериментів необхідно, щоб для моделі та натурального об'єкта завжди задовольнялися рівності:

- кута розчину циклону робочої камери сепараційної установки;
- відношення висоти циклону робочої камери сепараційної установки до її вихідного діаметру;
- нелінійного відношення кінематичної в'язкості пульпи до швидкості її подачі.

Ці умови моделювання у вигляді критеріїв подібності мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{h}{d} &= idem \\ \alpha &= idem \\ \frac{\sqrt[7]{V^4}}{V^7} &= idem \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

У ході теоретичних досліджень було вирішено задачу про закрутку потоку ґрунтової пульпи в робочій камері циклону сепараційної установки. Рух суспензії частинок ґрунту з водою розглядався як турбулентний. Характерні значення швидкості потоку V_{ex} відповідали діапазону від 3 до 18 м/с, а числа Рейнольдса перевищували 10^5 .

У вибраному методі сепарування ґрунтової пульпи в умовах роботи судна принциповим питанням є кількість води, що відбирається з камери циклону. Для знаходження цього показника були проведені розрахунки, що показують, як частинки ґрунту відкидаються до стінок камери циклону в залежності від швидкості підведення вихідної суміші. При обчисленнях значення густини пульпи (вода-пісок) приймалися такими, що дорівнюють $\rho_{sp}=1200$ кг/м³, а динамічної в'язкості пульпи $\mu=10^{-3}$ Па·с. Отримані результати розрахунків показані на рисунку 2, де для різних значень швидкості потоку на вході в

циклон можна побачити зміну радіальної швидкості руху ґрунту в різних перерізах циклону.

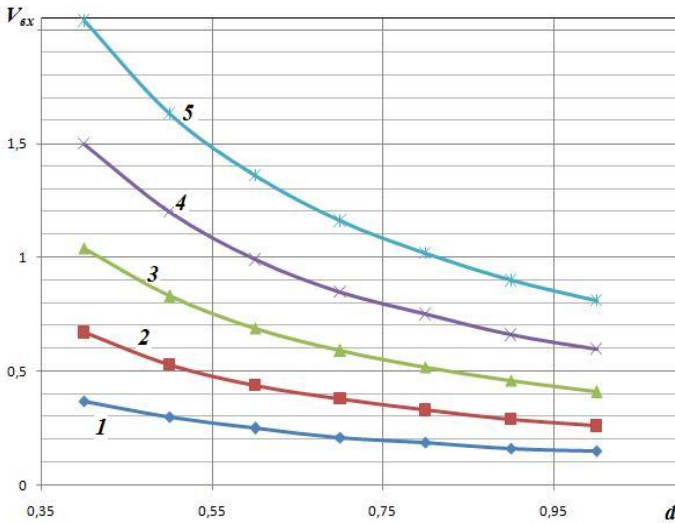


Рис. 2. Характер зміни радіальної швидкості ґрунту по висоті циклону
 1 – $V_{ex}=3$ м/с; 2 – $V_{ex}=4$ м/с; 3 – $V_{ex}=5$ м/с; 4 – $V_{вх}=6$ м/с;
 5 – $V_{вх}=7$ м/с.

Характер зміни часу, протягом якого частки ґрунту зміщуються до стінок циклону при різних значеннях швидкості підведення пульпи в робочу камеру можна побачити на рисунку 3. З графіка випливає однозначний висновок - зростання швидкості підведення пульпи в циклон значно скорочує процес її сепарування. У цьому випадку частинки ґрунту в нелінійній залежності від швидкості підведення починають швидше відходити від віссі обертання всього об'єму пульпи, що обробляється. На рис. 3 видно, що робочі значення швидкості підведення повинні перевищувати 5 м/с. Так, при швидкості входу 3 м/с час сепарації практично в 2,5 рази більше за аналогічну величину при 5 м/с і в 4 рази більше при швидкості підведення 6 м/с. Оптимальним значенням швидкості входу пульпи до сепаратора є величина 7 м/с. В цьому випадку, як видно з графіка, максимальний час відділення ґрунту від води в найбільшому перерізі робочої камери циклону становить всього 2 секунди.

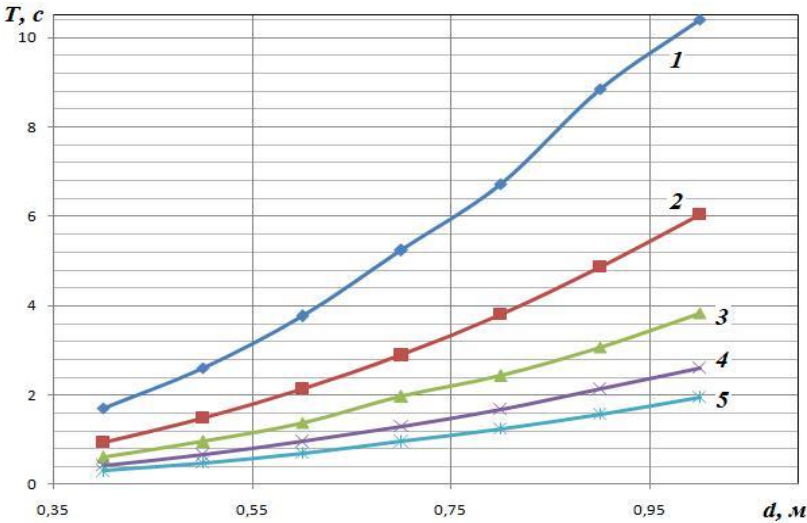


Рис. 3. Залежність часу сепарування ґрунту від швидкості подання
 1 – $V_{\text{вх}}=3$ м/с; 2 – $V_{\text{вх}}=4$ м/с; 3 – $V_{\text{вх}}=5$ м/с; 4 – $V_{\text{вх}}=6$ м/с; 5 –
 $V_{\text{вх}}=7$ м/с.

Аналіз результатів, показаних на рисунку 3 не дає відповіді на основне питання про те, чи достатньо вхідної енергії потоку для повноцінного відкидання ґрунту до стінок циклону. У цьому випадку необхідно визначати залежність відстані, на яку в циклоні зміщується ґрунт із зростанням швидкості його закрутки. Результати цих розрахунків можна побачити на рисунку 4, де для різних значень швидкості потоку на вході в циклон представлений закон зміни величини зміщення ґрунту в радіальному напрямку у різних перерізах циклону.

З графіка видно, що результати підпорядковуються єдиному універсальному закону. Усі п'ять розрахункових значень вхідної швидкості потоку лягають однією лінією. Аналіз рисунка 4 дозволяє зробити однозначний висновок про те, що при сепарації ґрунту всередині робочої камери циклону радіальне зміщення частинок ґрунту не залежить від радіусу циклону.

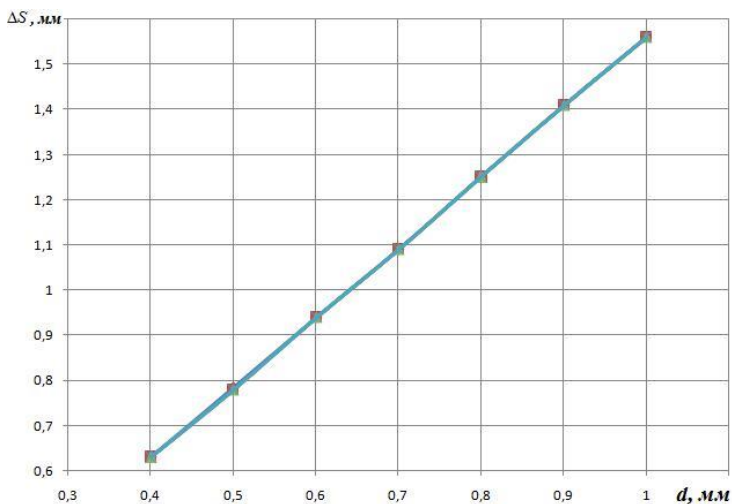


Рис. 4. Ступінь радіального зсуву ґрунту по висоті робочої камери циклону

Окремим завданням під час проведення досліджень було підвищення продуктивності суднової системи розмиву ґрунтової пульпи. Під час її вирішення було встановлено, що продуктивність може бути збільшена шляхом реалізації двох напрямків. Перший напрямок відповідає технологічній стадії, яка пов'язана з видобутком ґрунту. Цей напрямок в основному визначається:

- головними технологічними показниками судна (використаним обладнанням, наявністю додаткового бустерного насоса тощо);
- ступенем підготовки оператора ведучого ґрунтовидобування;
- видом ґрунту, що всмоктується з дна ділянки, що розробляється.

Другий напрямок пов'язаний з вивантаженням пульпи. Швидкість розвантаження на місці складування скорочує простоту судна і знижує екологічне навантаження на водний регіон карти наміву, але з технологічної погляду є складнішою, ніж процес видобутку ґрунту. Основні проблеми в цьому випадку пов'язані з ущільненням ґрунту, його залипанням на стінках трюму та відсутністю спеціальних пристроїв розвантаження ґрунту.

Технологія очищення трюмів суден днопоглиблювального флоту від ґрунту з використанням відцентрового відділення пульпи, що отримується, дозволяє істотно підвищити якість і продуктивність процесу вивантаження ґрунту. З іншого боку, технологічні умови, що

існують на земснарядах, а саме: великі обсяги танків (трюмів), відсутність можливості візуально контролювати всі етапи роботи установки, вимагають застосування контрольно-вимірювальної апаратури для автоматизації процесу управління розвантаженням. У цьому випадку за рахунок автоматизованого процесу розмиву стає можливим суттєво знизити вартість процесу розвантаження.

Використовувані технології розвантаження та ступінь їхньої автоматизації визначають як швидкість скидання ґрунту, так і ступінь технічної складності реалізації цієї операції. Модернізація використуваних технологій транспортування і перевантаження ґрунту, що видобувається, при своєму правильному використанні може призвести до істотного зниження простоїв судна при скиданні ґрунту, і найголовніше дозволить вивантажувати весь перевезений ґрунт без баластових залишків.

Основна спрямованість робіт з автоматизації системи вивантаження ґрунту із трюму судна має забезпечувати безперервну реалізацію циклічного процесу ”розмив – відбір із трюму – рефулювання чи скидання за допомогою гідросистем”.

- регулювання частоти та тривалості відкриття всіх клапанів системи розмиву ґрунту.

Для реалізації перелічених вище функцій було розроблено систему автоматизованого управління технологічним процесом розвантаження ґрунту. До її складу входять: датчики тиску, витратоміри, вимірювачі рівня.

З метою забезпечення високої якості контролю вимірюваних параметрів системи розмиву ґрунту значна частина датчиків має бути встановлена безпосередньо на рухомій ділянці установки. Залежно від типу земснаряду можливе переміщення розмивного трубопроводу на значні відстані, які здебільшого визначаються габаритними розмірами трюму судна та швидкістю вивантаження ґрунтової пульпи. У цих умовах для надійного обміну інформацією в системі управління необхідне застосування сучасних промислових інформаційних систем, інформаційних мереж та протоколів, що мають високу надійність, швидкість і перешкодозахищеність. Цим вимогам найбільше відповідають сучасні бездротові промислові технології [5].

Однією з передових технологій бездротового обміну інформацією в системах управління технологічними процесами з виробництва є технологія WirelessHART. На сьогоднішній день у світі встановлено та працює понад 30 мільйонів HART-пристроїв, і технологія HART є

найпоширенішим польовим комунікаційним протоколом для інтелектуальних вимірювальних пристроїв. Найбільш суттєвою для застосування в умовах судна властивістю технології WirelessHART є автоматичне функціонування мережі датчиків, що забезпечує:

- самоорганізацію та самовідновлення мережі;
- безперервно чинний захист;
- самоналаштування при заміні або додаванні нових пристроїв;
- Адаптацію до змін в інфраструктурі працюючої мережі.

Технологія WirelessHART забезпечує надійність наскрізної передачі даних на рівні 99,9% у будь-яких виробничих умовах, що має важливе значення в умовах судна. HART-протокол є одним з кращих промислових протоколів інформаційного обміну в мережах систем управління технологічними процесами. Він забезпечує високу надійність, швидкість, безпеку, безконфліктність і схильність. Більшість сучасних виробників контрольно-вимірювального обладнання випускає датчики та прилади, які мають вбудовану апаратну підтримку цього протоколу.

При розробці автоматизованої системи управління розвантаженням пульпи запропоновано використовувати обладнання та технології компанії Emerson, що пропонує рішення, що відповідають найвищим вимогам, стандартам та умовам експлуатації. Устаткування Emerson поширене на сучасному технічному флоті, що дозволяє відносно легко інтегрувати цю систему в існуючу інфраструктуру суднового обладнання. Найсучасніші датчики та прилади Emerson мають вбудований бездротовий HART інтерфейс. Можливе також використання та обладнання старшого покоління за рахунок застосування бездротових HART комунікаторів, що дозволяють інтегрувати дротові прилади у бездротові мережі [6]. Схема бездротової сенсорної мережі, що самоналаштовується, розроблена в ході досліджень для системи управління судновою системою розвантаження ґрунту показана на рисунку 6.

Мережа заснована на сумісних зі стандартом IEEE 802.15.4 радіопередавачах. Такі передавачі працюють у промисловому, науковому та медичному діапазоні 2,4 ГГц, що повністю відповідає умовам їх інтегрування у роботу днопоглиблювального судна. Вони використовують технологію широкопasmового сигналу з прямою послідовністю та перемиканням каналів для забезпечення комунікаційної безпеки та надійності, а також технологію синхронізованого ба-

гатостанційного доступу з тимчасовим поділом каналів (TDMA) та контрольовану затримку зв'язку між пристроями в мережі.

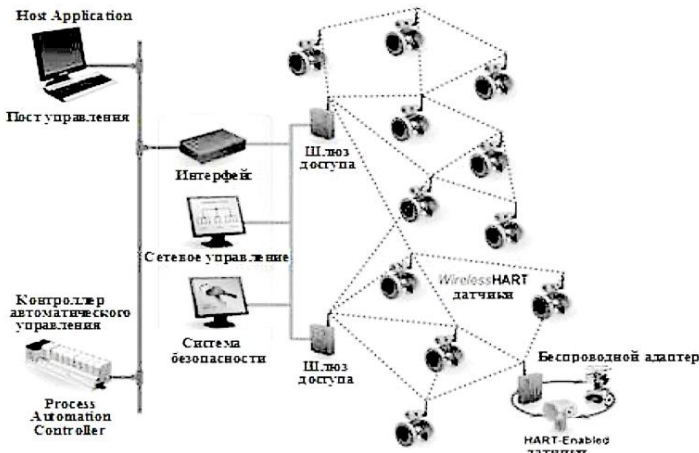


Рис. 6. Схема бездротової мережі системи керування розвантаженням ґрунту

Під час розробки системи автоматизованого управління вивантаженням пульпи був використаний принцип пристроїв маршрутизаторів. У цьому випадку будь-який з керованих електромагнітних клапанів може служити маршрутизатором для повідомлень від інших, сусідніх клапанів. Потрібний сигнал передається на найближчий сусідній пристрій. Цей принцип розширює масштаб мережі та забезпечує надлишкові канали передачі для підвищення надійності. Застосована вузлова схема мережі також дозволяє легко додавати та переміщувати додаткові пристрої. Пристрій завжди залишається на зв'язку, коли він знаходиться в зоні дії інших пристроїв у мережі.

Однією з основних функцій системи управління процесом розвантаження ґрунту є регулювання частоти та тривалості часу спрацювання електромагнітних клапанів. Для завдання робочого діапазону роботи клапана було запропоновано використати емпіричний закон регулювання роботою клапана у вигляді

$$f = \frac{k_1 h}{Q_1 (P_2 - P_1)} \quad (9)$$

$$t = \frac{k_2 h}{P_2 Q_2} \quad (10)$$

де f – частота перемикання електромагнітного клапана на ділянці, що довільно розглядається як на контурній так і на розмивній ланці; h – висота положення трубопроводу щодо дна трюму; Q_1 – витрата ґрунту, що вивантажується; Q_2 – витрата води у живильному трубопроводі; P_1, P_2 – робочий тиск води безпосередньо за електромагнітними клапанами та в розмивних отворах; t – тривалість роботи струменів, на виході з розмивних отворів; k_1, k_2 – коефіцієнти, що визначаються емпіричним шляхом залежно від виду конструкції клапана, що використовується.

Розроблена схема алгоритму управління роботою системи автоматизації суднового вузла розмиву ґрунту показана на рисунку 7. Сам алгоритм управління реалізується у додатку Host Application і програмному забезпеченні Process Automation Controller, які відображені на схематичному рис. 6.

Для забезпечення гнучкості роботи мережі за різних умов роботи земснаряду стандарт WirelessHART підтримує кілька режимів передачі даних, включаючи:

- односпрямовану публікацію значень параметрів технологічного процесу та управління;
- миттєве повідомлення за винятком;
- спеціальний запит/відгук та передачу великих наборів даних з автоматичним сегментуванням.

Всі ці можливості дозволяють налаштувати передачу даних відповідно до виробничих вимог реального процесу вивантаження ґрунтової пульпи. Основними результатами у цьому випадку є:

- можливість зниження енергоспоживання;
- скорочення часу простою судна під час проведення розвантажувальних операцій.

Розроблена мережа автоматизованого розмиву ґрунту дозволяє здійснювати динамічний контроль всіх параметрів первинних датчиків, як зі стаціонарної ПЕОМ оператора, і з мобільного терміналу управління. Під час роботи установки можливе підключення додаткових керуючих та діагностичних вузлів: монітора мережі, сервера безпеки тощо.

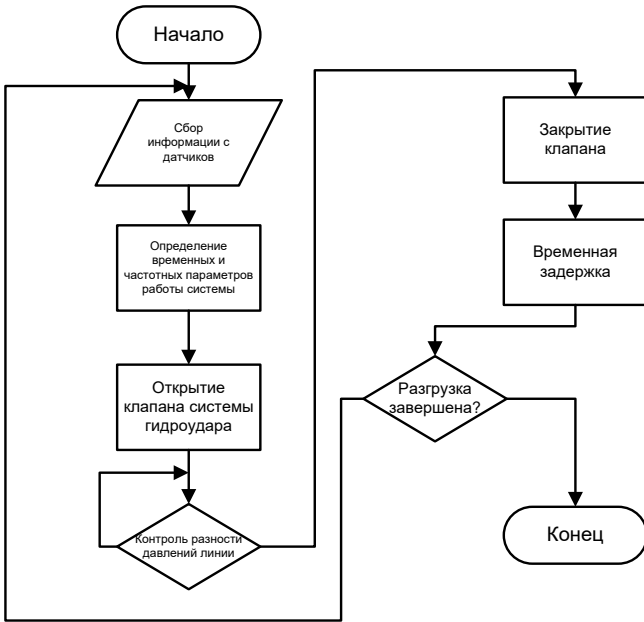


Рис. 7. Схема алгоритму керування клапаном

Висновки

Аналіз усіх технологій видобутку, транспортування та вивантаження ґрунту суднами днопоглиблювального флоту показує, що проблема руйнування ущільненого поверхневого шару ґрунту залишається, як і раніше, не вирішеною. Існуючі технічні пристрої не дозволяють одночасно обробляти всю площу ущільненого поверхневого шару з підготовкою ґрунту для його подальшого транспортування.

При сепарації ґрунту всередині робочої камери циклону радіальне зміщення частинок ґрунту не залежить від радіусу циклону.

Автоматизація процесу вивантаження ґрунту з підвищенням його концентрації в пульпі, що транспортується, дозволяє здійснювати динамічний контроль всіх параметрів первинних датчиків, як зі стаціонарної ПЕОМ оператора, так і з мобільного терміналу управління.

Перелік використаних джерел

1. Islam S., Parks, J. (2014) Economic assessment of dredging operations in Mobile Bay, USA and some additional notes on sustainable

management of dredged material. *Journal of Coastal Conservation*, Volume 18, Issue 3, 157-165.

2. Cutroneo L., Massa, F. Castellano, M. Canepa, G. Costa, S. Povero P., Tucci S., Capello M.(2014). Technical and public approaches to involve dredging stakeholders and citizens in the development of a port area. *Environmental Earth Sciences*. Volume 72, Issue 8, 3159-3171.

3. Lee K.M., Shen C. K., Leung D. H. K., Mitchell J. K. (1999) Effects of Placement Method on Geotechnical Behavior of Hydraulic Fill Sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* , Vol. 125, No. 10, 832-846.

4. М.А. Колегаев, С.В. Зуев, І.З. Маслов, О.В. Малахов, Ф.А. Бендеберя. Використання хвиль ударного тиску в суднових гідравлічних системах. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. -2013. - № 1(8) - с.160-164.

5. Candell, R. , Hany, M. , Perez-Ramirez, J. and Conchas, J. (2022), An IEEE Standard for the Evaluation of Wireless Networks for Industrial Automation, *IEEE Internet of Things Magazine*, [online]. Режим доступу: https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=934487

6. Zhang Yu-hua, Jiang Jian-guo.(2012) Dynamic Positioning Control System of the Dredger. *Electrical, Information Engineering and Mechatronics. Lecture Notes in Electrical Engineering* Volume 138, 1489-1495.