



УДК 624.132.3

М.К. Сукач, д-р техн. наук, доцент КНУБА

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОННОГО ФОНУ ДЛЯ ГЛИБОКОВОДНИХ МАШИН

Для створення глибоководних землерийних машин і оцінки очікуваних робочих навантажень необхідно вивчення інженерно-геологічних умов підводного середовища, визначення опору ґрунтів різанню, характеру рельєфу дна та ін. Відомі технічні труднощі поки що не дозволяють визначати в умовах природного стану більшість параметрів глибоководних ґрунтів, які звичайно використовуються в розрахунках машин. Прогнозування ж властивостей підводних ґрунтів за зразками, піднятими з великої глибини, досить приблизне із-за фактичного руйнування матеріалу ядра при зменшенні гідростатичного тиску.

Характер взаємодії робочих органів і ходового обладнання підводних машин в значному ступені відрізняється від суходільних аналогів, а проведення повномасштабних експериментів на великій глибині на сьогодні практично не реально. Тому по суті єдиною можливістю максимально наблизитися до дійсних експлуатаційних умов на морському дні є створення контактних методів і технічних засобів дослідження глибоководних ґрунтів на місці їх залягання. При цьому відпадає необхідність прогнозування впливу гідростатичного тиску води на властивості донного ґрунту і, відповідно, на робочі навантаження машин.

Експлуатаційні характеристики включають показники і властивості підводних ґрунтів, які необхідні і достатні для розрахунку робочих навантажень підводних ґрунторозробних машин, визначення характеру взаємодії їх робочих органів і ходового обладнання з ґрунтовим масивом, вибору оптимальних режимів роботи і складання карт прохідності по трасі машин для видобувних робіт (рис. 1).

Таким чином, для реалізації прогнозних моделей експлуатаційних навантажень глибоководних машин необхідно: по-перше, знайти по-можливості мінімальний перелік характеристик ґрунтів, що визначають робочі режими землерийних машин під водою; по-друге, розробити методи, методики і способи одержання цих даних на місці залягання ґрунтів, в незруйнованому стані; по-третє, створити пристрої, прилади, установки і обладнання, які дозволяють з певним ступенем достовірності визначати властивості ґрунтів під водою; і, насамкінець, розробити моделі робочих навантажень машин на основі визначених у природному стані характеристик донного фону [1].

Звичайно дослідження донних ґрунтів і робочих процесів машин під гідростатичним тиском проводять в барокамерах, де ґрунт навантажують тиском від атмосферного до заданого, в основному до 3 МПа. В той же час при підйомі зразків відбувається процес зворотній – розвантаження при зменшенні гідростатичного тиску. Прогнозні моделі одержують або в барокамері, або в атмосфері з корегуванням їх на гідростатичний тиск. Неоднозначність процесів призводить до різного тлумачення впливу гідростатичного тиску на робочий процес землерийних машин.

Так, в моделях різання ґрунту В.І. Баловнева, Д.Д. Тургумбаєва, О.О. Карошкіна вплив тиску стовпа води враховується коефіцієнтом k , який представляє собою співвідношення сили різання (або копання) під гідростатичним тиском P_R до аналогічної сили в атмосферних умовах P_{01} . Збільшення сили різання зв'язних ґрунтів ножом землерийної машини пояснюється притисканням стружки до передньої грані робочого органу, куди гідростатичний тиск не проникає. В результаті ближчі елементи стружки прослизують не по ножу, а по прилиплому ґрунту. У відповідності з моделлю М.Т. Тиндибекова при різанні ґрунту під впливом гідростатичного тиску відбувається деформація його скелету і зменшення порожнистого простору, а зчеплення ґрунту зростає

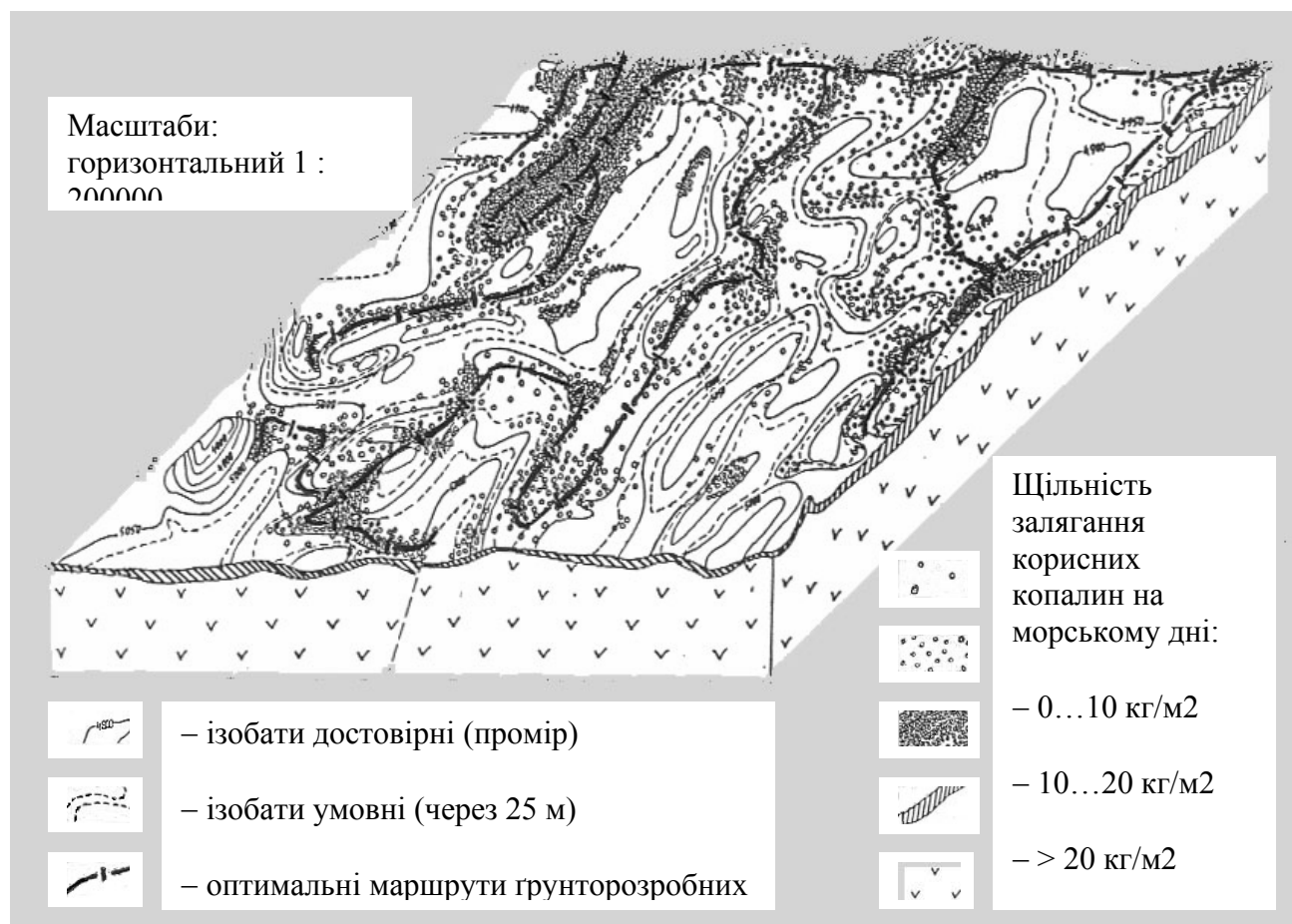


Рис.1. Модель карти експлуатаційного донного фону

в результаті збільшення молекулярних сил між його твердими частками. Цим обґрунтовується збільшення опору трифазного ґрунту.

За визначенням І.А Недорезова, В.П. Болотова, А.О. Шаталова опір різанню від дії гідростатичного тиску зростає. Однак ними розглядався процес різання під шаром глинистої пульпи при відносно короткочасному (неконсолідованому) впливі води на ґрунт, що і призводило до його збільшення під гідростатичним тиском. Лобанов В.А. вдосконалив формулу Зеленіна А.Н. для сили різання введенням коефіцієнту впливу гідростатичного тиску на зчеплення підводного ґрунту k_p . Для визначення сили фрезерування підводного ґрунту Огородніков С.П. запропонував використовувати додаткову складову P_R , яка враховує дію гідростатичного тиску. В дослідях КНУБА виявлено, що опір різанню двофазних ґрунтів при повному водонасиченні не залежить від гідростатичного тиску, як для проникливих піщаних, так і для практично непроникливих глинистих ґрунтів [2].

Іспити, проведені автором на натурних осадках в НДПШокеангеофізиці і НДПШокеанмаші, показали, що при взаємодії з ними ріжучого ножа гідростатичний тиск призводить до витoku в контактну зону порової води; підтверджено гіпотезу про вплив на ґрунтове середовище двох систем тиску: ефективного P_e , який діє на скелет ґрунту через точки і площадки контактів твердих часток та призводить до ущільнення і зміцнення ґрунту і нейтрального P_n , що діє тільки на порову воду, збільшуючи напір і викликаючи її фільтрацію. Повний тиск у ґрунті дорівнює сумі ефективного і нейтрального.

У водонасичених (двофазних) ґрунтах, якими є глибоководні осадки, при не дренажному консолідованому зрізі, що звичайно відбувається у природному стані,



зовнішнє навантаження не викликає додаткового ефективного напруження. Тиск рідини зі сторони ножа на внутрішню поверхню стружки врівноважує її стан і обумовлює незалежність опору від гідростатичного тиску. Таким чином, опір різанню ґрунтового середовища залежить тільки від його фізико-механічних характеристик, визначених у природному стані, і параметрів робочих органів землерийних машин.

Враховуючи ці особливості, вперше розроблено модель різання підводних ґрунтів на основі реології текучого середовища та встановлено нові закономірності процесу взаємодії робочих органів і ходової частини землерийних машин з водонасиченими в'язкопластичними осадами; характеристики ґрунту, знаходять у природному стані.

За прогнозною моделлю [3] опір різанню підводного ґрунту плоским гострим ножом визначається сімома складовими, що витрачаються на: зчеплення між елементами зсуву зливної стружки на передній грані ножа $F_1 = \tau_0 b h t g \alpha$; навантаження в бічних прорізах при відтинанні стружки від масиву $F_2 = \tau_0 h^2 / \cos \alpha$; опір в бічних сторонах інструмента від зчеплення цілика ґрунту

$$F_3 = \tau_0 \left\{ \frac{2\varepsilon(2+\varepsilon)h^2}{\sin 2\alpha} + \frac{hd(1+\varepsilon)}{\sin \alpha} - d^2 [\operatorname{ctg}(\alpha - \beta) - \operatorname{ctg} \alpha] \right\} \quad \text{і в'язкості середовища}$$

$$F_4 = \left[\frac{2h(1+\varepsilon)}{\sin \alpha} - d \operatorname{ctg}(\alpha - \beta) + d \operatorname{ctg} \alpha \right] \times \sqrt{2\mu\nu_0\tau_0 d \left[\frac{h}{l} \operatorname{tg} \alpha + \frac{h^2}{bl \cos \alpha} + \frac{l}{h} \sin 2\alpha \left(1 + \frac{\eta}{3} \right) \right]}; \quad \text{силу}$$

$$\text{в'язкості в суміжному шарі ґрунту перед ножом} \quad F_5 = \frac{2\varepsilon(2+\varepsilon)h^{1,5}}{\sin \alpha} \sqrt{\mu\nu_0\tau_0 \left(1 + \frac{\eta}{3} \right)};$$

компенсацію тиску біля нижньої кромки ножа для подолання опору в'язкості ґрунту

$$\text{вздовж інструмента} \quad F_6 = \frac{\tau_0 b l^2}{6h} (3 + \eta) \sin 2\alpha; \quad \text{тертя стружки по лобовій поверхні ножа}$$

$F_7 = \tau_0 (1 + \eta) b l \cos \alpha$, де τ_0, μ – зчеплення і в'язкість ґрунту; b, h – ширина і глибина різання; α, β – передній і задній кути різання; ν_0 – швидкість ножа; d, l – товщина і довжина ножа; ε, η – критерії подібності моделі, які характеризують робочий процес.

Для дослідження робочих процесів підводних землерийних машин і властивостей ґрунтів на морському дні автором створено комплекс методів і технічних засобів. Це глибоководні зонди для визначення зчеплення і в'язкості донного ґрунту методом гравітаційного зондування; прилади реєстрації ударних імпульсів інденторів для дистанційного вимірювання і цифрової обробки інформації; плануюча установка для автоматичного зондування підводних ґрунтів із заданим кроком; морські глибоководні трубчасті пробовідбірники з розрізними пластмасовими вкладишами, що дозволяють вилучати газонасичені зразки донних ґрунтів; буксирована донна установка, призначена для безперервного за рухом судна дослідження морського дна і визначення міцнісних властивостей (зчеплення, несучої здатності, липкості, рельєфу міцності в поверхневому шарі) донних ґрунтів, іспитів моделей робочих органів і опорних пристроїв підводних землерийних машин, оцінки умов їх прохідності на дні; глибоководні іскіметри, які встановлюють на ґрунторозробних машинах для визначення опору різанню в умовах експлуатації; а також інші пристрої, датчики, прилади та контролери, що використовують в системах автоматизованого управління глибоководними машинами [4].

Запропонована техніка розрахована на роботу з борта судна, що рухається зі швидкістю 0,5...1,5 м/с при хвилюванні моря до 5...6 балів. Пріоритет нових рішень захищений 16 авторськими свідоцтвами і патентами; проведено метрологічний контроль апаратури. Порівняльний аналіз з даними випробувань зразків за стандартними методиками, показав задовільну збіжність робочих навантажень машин і властивостей донних ґрунтів, які одержано на глибині, і підтвердив адекватність нових методів визначення експлуатаційних характеристик донного фону для землерийних систем.

Глибоководні осадові ґрунти, з якими зв'язаний комерційний інтерес розробників морських твердих копалин, представляють собою м'яко пластичні тонкопелітові водонасичені мули і глини малої міцності з природною вологістю, що перевищує вологість на межі текучості. Середньостатистичні дані ґрунтів для різних літологічних ознак, одержані при обробці черпакових і трубчастих проб: густина $\rho = 1,12 \dots 1,34 \text{ т/м}^3$; вологість $W = 180 \dots 290 \%$, зчеплення $\tau_0 = 0,9 \dots 7,24 \text{ кПа}$, динамічна структурна в'язкість $\mu = 5 \dots 500 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Кут внутрішнього тертя дорівнює нулю, а для шарів нижчого залягання не перевищує $\psi = 1 \dots 5^\circ$; несуча здатність ґрунту на поверхні дна $\sigma = 10 \dots 50 \text{ кПа}$. Створені прилади дозволяють визначати в умовах природного стану динамічну міцність, дисипацію і деякі інші властивості ґрунтів, необхідні для розрахунків підводних землерийних машин та оцінки їх прохідності на дні.

Розкрито особливості робочого процесу машин на глибоководних донних осадах з твердими вкрапленнями. Встановлено, що режим ковзання днища на донних осадах забезпечується, якщо тиск ґрунту не перевищує $P = 2,0 \dots 3,0 \text{ кПа}$, а співвідношення величин навантаження носової і кормової частин $R_1/R_2 = 0,5 \dots 0,6$. Неврахування цих факторів призводить до заниження оцінок тягових зусиль в системі буксирування глибоководних машин і аварійного режиму, що є однією з причин неефективного використання або навіть втрати їх на дні. Максимальна осадка конкрецій діаметром $3 \dots 5 \text{ см}$ спостерігається при вібраційному впливі машини з частотою 20 Гц і амплітудою $0,2 \text{ мм}$ та досягає $40 \dots 70 \%$ від їх діаметра. При цьому міцність донного ґрунту зменшується в $2,5 \dots 3,0$ рази і відновлюється лише через $3 \dots 4$ доби; уклон поверхні до 10° на його тискотропні властивості не впливає. Мінімальна ефективна швидкість гідророзмиву твердих вкраплень $0,8 \text{ м/с}$; при щільності їх залягання більше $0,7 \text{ кг/м}^2$ доцільнішим за енергетичними показниками і ККД є механічний спосіб розробки донних корисних копалин.

Разом з тим залишаються не вивченими в натурних умовах такі характеристики глибоководних осадових ґрунтів як опір їх руйнуванню при багаторазовому впливі агрегатів збору; характер скаламученості і осідання ґрунтів, що відбивається на якості візуального контролю і оперативності управління підводними агрегатами; ступеня екологічного впливу ґрунторозробних машин на підводне середовище тощо.

Перераховані вище характеристики необхідні для розробки ґрунтовних карт експлуатаційного донного фону. Такі карти необхідно складати в різних масштабах, відповідно до характеру вирішуваних задач на дні; вони повинні містити основний набір інженерно-геологічних характеристик донних ґрунтів, показники опору їх різанню землерийними машинами і батиметричні профілі по найбільш типовим геологічним розрізам, які показують зміну рельєфу дна, характеристики ґрунтів по глибині залягання, визначають висоту стовпа води над дном і його основні експлуатаційні особливості в досліджуваному районі. Це дозволить на допроектних етапах вибирати найбільш оптимальні траси руху підводних землерийних машин і забезпечити ефективність їх функціонування шляхом забезпечення відповідності параметрів машин реальним умовам експлуатації під водою.

Література

- 1 Баладинский В.Л., Сукач М.К. Подводные строительные работы: Учеб. пособ. для вузов. – К.: ИСМО, 1999. – 224 с.
- 2 Сукач М.К. Гипербарические испытания грунта для гидротехнического строительства // Нові технології в будівництві. – 2002. – № 4. – С. 14-18.
- 3 Сукач М.К. Взаимодействие ножа землеройной машины с вязкопластичным грунтом // Техніка будівництва. – 2001. – № 9. – С. 53-59.
- 4 Сукач М.К. Разработка глубоководных грунтов. – К.: Наук. думка, 1998. – 348 с.