

*Винников Ю. Л., д.т.н., професор, Харченко М. О., к.т.н., доцент,  
Ягольник А. М., к.т.н., доцент, Вольченкова А. В., старший викладач,  
Вовк М. О., старший викладач, Волошко І. В., студент  
Національний університет «Полтавська політехніка  
імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна*

## **ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ LNG РЕЗЕРВУАРІВ НА СЛАБКИХ ГРУНТАХ**

Об'єкти зберігання зрідженого природного газу (LNG) відносять до найвищої категорії складності й класифікують як споруди підвищеної відповідальності та екологічної небезпеки. Для територій зі складними інженерно-геологічними умовами суттєво підвищується загальна вартість будівництва та ускладнюється забезпечення проектних технологічних вимог щодо їх експлуатації, особливо при динамічних впливах. Тому комплексне врахування цих чинників потребує надійного обґрунтування рішень системи «основа – фундаменти – інженерна споруда», розроблення ефективних конструктивно-технологічних рішень для зведення сучасних економічних і безпечних резервуарів вуглеводнів, а також забезпечення проектних технологічних вимог при їх експлуатації [1].

Розглянемо наочний приклад такого обґрунтування раціонального та одночасно надійного рішення складу вуглеводнів газонаповнювальної станції в Харківській області. Металеві ємкості для зберігання вуглеводнів, які розміщують на залізобетонних плитах (фундаментах) площею 6 м<sup>2</sup> (3 x 2 м), подано на рис. 1, а. Проміжні залізобетонні елементи між ємкостями та цими плитами, а також самі опорні плити вміщено на рис. 1, б.



а



б

**Рис. 1. Металеві ємкості для зберігання вуглеводнів (а) і проміжні залізобетонні елементи між ємкостями й плитами та самі плити (б)**

У геоморфологічному відношенні майданчик приурочено до стику річної заплави й тераси. Територію сплановано насипними ґрунтами. До

глибини 12 м від земної поверхні залягають відклади систем: крейдної (суглинисті білі крейди – суглинки текучі) на глибинах від 4,4 м до 10,6 м; палеогенової (глини тугопластичні, піски середньої крупності, піски мілкі до пилюватих) на відкладах верхньої крейди; четвертинної, що поділені на фації: руслову (суглинки м'якопластичні), розмиву (піски мілкі та суглинки) й заплавної (піски мілкі, середньої щільності, насичені водою).

Сучасні четвертинні відклади – суглинки текучопластичні, замулені, з домішками органічних речовин (ІГЕ-2) та торфи м'якопластичні (ІГЕ-2а). Грунт ІГЕ-2а відносно до слабких (модуль деформації  $E < 5$  МПа). Розрахункові значення властивостей ґрунту такі: кут внутрішнього тертя  $\varphi_{II} = 10^\circ$ ; питоме зчеплення  $c_{II} = 30$  кПа; модуль деформації  $E = 3$  МПа;  $\varphi_I = 9^\circ$ ;  $c_I = 20$  кПа. Потужність ІГЕ-2а звичайно не перевищує 0,6 м, місцями до 1 м. Шари ґрунтів не витримані за глибиною та площею.

Гідрогеологічні умови зумовлені геоморфологічними особливостями та геологічною будовою майданчику. Його гідрогеологічні особливості суттєво визначає гідрогеологічний режим річки. Рівень ґрунтових вод склав 0,40-1,80 м від земної поверхні, тобто, майданчик підтоплений, а сезонні коливання рівня ґрунтових вод складають 0,8 м.

За таких умов у якості штучної основи залізобетонних фундаментів (3 x 2 м) металевих емкостей для зберігання вуглеводнів прийнята піщана подушка. Тому четвертинні відклади (ІГЕ-2 та ІГЕ-2а) було перекрито пісками насипними, середньої крупності, що відсипані пошарово й ущільненні укочуванням. Товщина піщаної подушки 1,0-1,2 м.

Головний природно-техногенний чинник, що вплине на територію при зведенні й експлуатації споруд, – це зміни гідрогеологічного режиму. Ця інформація стала обґрунтуванням необхідності додаткових інженерно-геологічних досліджень фактичного масиву майданчику вертикальним статичним навантаженням штампами площею 60000 см<sup>2</sup> відповідно до ДСТУ Б В.2.1-6-2000 «Ґрунти. Польові випробування». Залізобетонні штампи площею 6 м<sup>2</sup> розміщували безпосередньо на вирівняній поверхні ділянки. До штампу були приєднані струни трьох прогиномірів (з ціною поділки 0,01 мм), закріплених на реперних системах (рис. 2, а), якими вимірювали осідання штампу. Для аналізу приймали середнє значення. Штмп (плита) важив 45 кН, його завантажували аналогічними плитами (рис. 2, б і 2, в). Тиск під подошвою штампу від ваги кожного з таких вантажів склав 7,5 кПа. Кожна ступінь навантаження звичайно (крім перших) складала 2 плити, тобто відповідний тиск складав 15 кПа.

Кожну ступінь навантаження витримували до умовної стабілізації осідання основи штампу, за яку приймали її приріст у 0,1 мм за дві години спостережень. При виконанні цієї умови до штампу прикладали наступну ступінь навантаження. Кінцевий тиск під подошвою штампу склав 150 кПа. Після цього його розвантажували. Результати статичних випробувань

грунтів трьома штампами подано у вигляді графіків залежності осідання основи штампу від тиску  $S=f(p)$  під його підшвою (рис. 3).



а

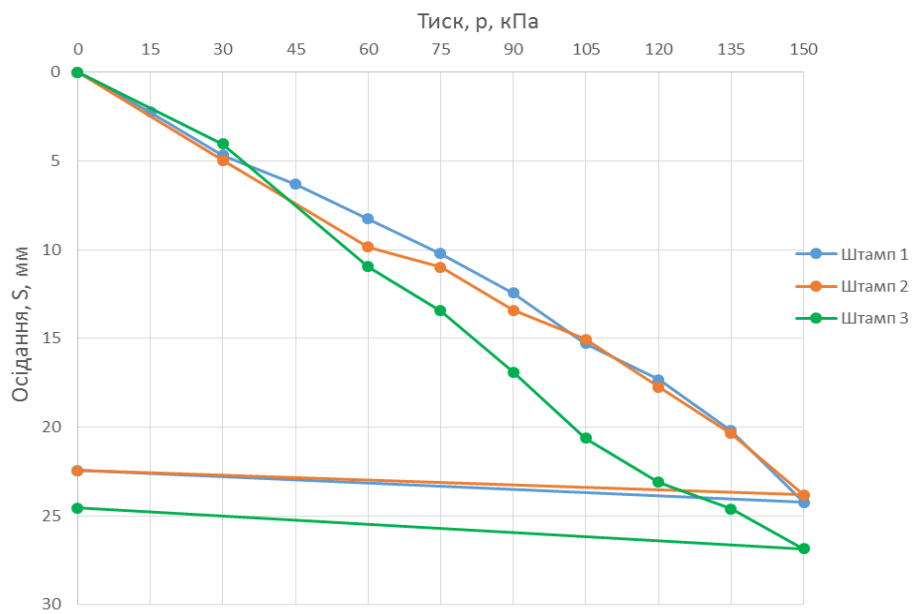


б



в

**Рис. 2.** Реперні системи та закріплені на них прогиноміри для виміру осідань основи штампу (а) та завантаження штампу плитами (б і в)



**Рис. 3.** Графіки осідань основи штампів від тиску

Модуль деформації такої основи визначено з відомого виразу

$$E = \omega(1 - \nu^2) b \frac{\Delta p}{\Delta S}, \quad (1)$$

де  $\omega$  – безрозмірний коефіцієнт, прийнятий для круглого жорсткого штампа 0,8;  $\nu$  – коефіцієнт бічного розширення від 0,27 до 0,42 залежно від виду ґрунту;  $b$  – діаметр штампа, см;  $\Delta p$  – прирощення тиску, МПа,  $\Delta p = p_n - p_1$ ;  $\Delta S$  – прирощення осідання штампа, см,  $\Delta S = S_n - S_1$ .

Із аналізу графіків  $S=f(p)$  (рис. 3) видно, що до тиску  $p = 135$  кПа залежність може бути прийнята лінійною. Тоді для проектування значення модуля деформації для кожного зі штампів було прийнято при величині коефіцієнта Пуассона  $\nu = 0,37$ : для першого штампу  $E = 11,2$  МПа; для другого  $E = 11,0$  МПа; для третього  $E = 9,5$  МПа.

При заповненні ємкості водою тиск під подошвою штампів площею  $6 \text{ м}^2$  складає близько 60 кПа, а при її заповненні газом тиск під штампами з урахуванням привантаження від ґрунтової засипки навколо ємкості на всю її висоту не перевищить 105-110 кПа. Отже, за такого тиску несуча здатність і деформативність основи фундаментів площею  $6 \text{ м}^2$  металевих ємкостей для зберігання вуглеводнів буде забезпечена.

Однак через наявність у межах стислої товщі основи фундаментів площею  $6 \text{ м}^2$  торфу (ІГЕ-2а) є ймовірність, зокрема, при зниженні рівня ґрунтових вод, розвитку додаткових осідань шару торфу від розкладання органічних речовин. Тому основу фундаментів слід посилити. За найбільш надійні варіанти посилення основ під фундаменти ємкостей для зберігання вуглеводнів рекомендовано: підсилення шару торфу втрамбовуванням у нього щебеню за технологією набивних паль у пробитих свердловинах; вертикальне армування торфу ґрунтоцементними елементами.

Більш дешевий варіант посилення основ (який, однак, не виключає можливих додаткових осідань основи внаслідок розкладання органічних речовин, які містить торф) – це влаштування подушки зі щебеню чи гравію (товщиною не менше 0,6 м) по укладеній геосітці на вже існуючий пошарово ущільнений пісок подушки. За нього, в разі розвитку додаткових нерівномірних осідань основи через розкладання органічних речовин слід рихтувати технологічне обладнання ємкостей для зберігання вуглеводнів.

### **Використані інформаційні джерела:**

1. *Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах: Монографія / В.О. Онищенко, Ю.Л. Винников, М.Л. Зоценко, М.О. Харченко, І.І. Ларцева, В.І. Бредун, Т.М. Нестеренко. Полтава : ПолтНТУ імені Юрія Кондратюка, 2019. 246 с.*