

10.31653/smf45.2022. 145-154

Малахов О.В., Кіріс О.В., Маслов І.З., Найдьонов А.І., Генчев В.В.
Національний університет “Одеська морська академія”

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ГНУЧКИХ ТРУБОПРОВІДІВ ПІД ЧАС СУМІСНОЇ РОБОТИ ДВОХ СУДЕН

1. Постановка проблеми.

Гнучкі трубопроводи дуже часто використовуються під час сумісної роботи багатофункціональних суден підтримки в комбінації з працюючою нафто-або газодобувною платформою. На рисунках 1-а та 1-б показані окремі елементи судна, а на рисунка 1-в і 1-г показана нафтовидобувна платформа, яку воно обслуговує.

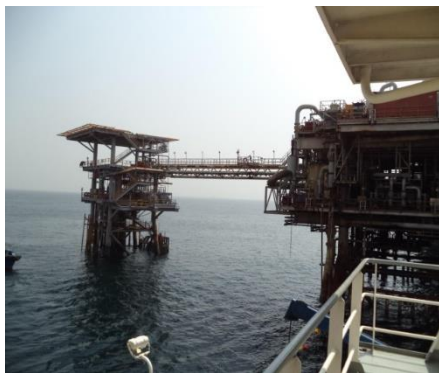
а



б



в



г



Рис. 1 Багатофункціональне судно підтримки у комбінації з нафтовидобувною платформою

а – підйомне обладнання судна у комбінації з елементами системи хімічного промивання гідравлічних ліній нафтовидобувної платформи; б – палубний танк збору хімічних реагентів після промивання гідравлічних ліній нафтовидобувної платформи; в – нафтовидобувна платформа; г - лінія відведення та спалювання газу зі свердловини.

Загальна технологічна схема спільної роботи двох морських суден (обслуговуючого судна та нафто-або газодобувної платформи) наступна: при проведенні судових регламентних технічних робіт нагнітальне гідравлічне та пневматичне обладнання та комплекс палубних танків на судні, що обслуговує підключаються до нафтової платформи за допомогою великої кількості гнучких трубопроводів.

Основні елементи обладнання та гнучкі трубопроводи показані на рисунках 2-3. До регламентних технічних робіт здебільшого відносять:

- закачування робочої рідини в свердловину при її розконсервації або закупорці для подальшого видобутку нафти;
- створення високого тиску в пневматичних лініях платформи
- промивання спеціальними рідкими хімічними реагентами всіх ділянок підводних нафтопроводів та гідравлічних ліній нафтовидобувної платформи з метою їх очищення від залишків нафтопродуктів та відновлення початкового діаметра умовного проходу.

До основного обладнання, що використовується при проведенні регламентних технічних робіт, належать:

- багатоступінчасті відцентрові насоси високого тиску (від 6 до 9 бар) з дизельним приводом, що забезпечує їхню автономну роботу (див. рис. 1-б);
- цистерни для подачі та збору рідких промивних хімічних реагентів із залишками нафтопродуктів (див. рисунки 1-б і 3);
- гнучкі трубопроводи, що є армованими шлангами, для подачі стисненого повітря (тиск від 3 до 7 бар) для роботи пневматичного інструменту (див. рис. 2);



Рис. 2. Гнучкі трубопроводи для подачі стисненого повітря з судна на платформу



Рис. 3. Гнучкі трубопроводи для подачі хімічних промивних реагентів з судна на платформу

- водолазне обладнання для підводного ремонту суднового чи підводного обладнання та гідроліній.

До складу водолазного обладнання, показаного на рисунку 4, входить комбінація піднімально-транспортної лебідки та робочої

камери водолазу, а також судова система для виробництва, зберігання та подачі стисненого повітря.



Рис. 4. Основні елементи водолазного обладнання
а – піднімально-транспортна лебідка; б – компресорні балони

У суднових водолазних системах в якості гнучких трубопроводів використовується шланг для подачі дихальної суміші. Робочий тиск суміші в такому шлангу є величиною змінною, оскільки залежить від глибини занурення і може доходити до 10 бар.

Робоча камера водолаза під час експлуатації фіксується на глибині занурення тросовим утриманням. Вона зазвичай виконується у двох варіантах – клітина для мілководної роботи (до 50 м) та підводний дзвін для глибоководних робіт (понад 50 м).

Під час сумісної роботи багатофункціональних суден підтримки в комбінації з працюючою нафто-або газодобувною платформою дуже важливою проблемою є знаходження основних ефектів та характеристик процесу впливу відриву потоку на обтікання гнучкого трубопроводу. Такі експлуатаційні показники необхідно отримувати в залежності від відстані гнучкого трубопроводу до жорсткого екрану яким може бути як корпус судна так і морське дно.

2. Результати досліджень.

Безпосередній вплив плоского екрана може бути джерелом для виникнення режиму галопаючих коливань циліндричного трубопроводу. Під час досліджень було встановлено, що така поведінка потоку в основному викликала відривними перехідними процесами на поверхні циліндра та екрану. Отримані результати показані на рисунку 5. На ньому відображена залежність безрозмірної амплітуди ко-

ливань h гнучкого трубопроводу в залежності від його відстані до площини екрану.

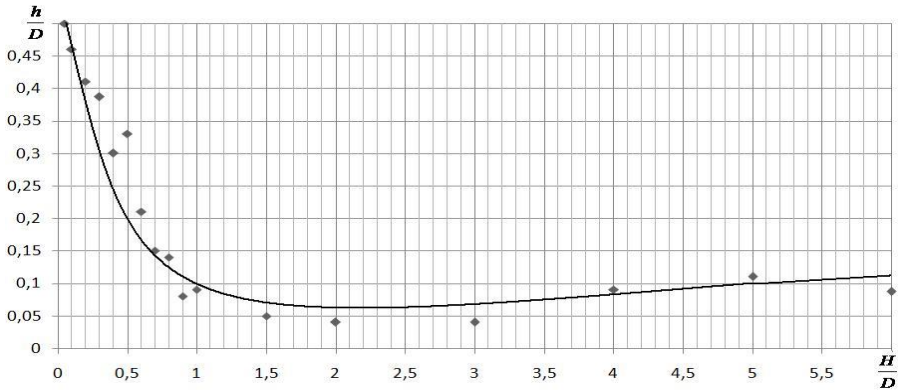


Рис. 5. Вплив відстані до екрануючої поверхні на амплітуду коливань гнучкого трубопроводу

На графіку видно, що найбільші відхилення трубопроводу від свого рівноважного становища виявлялися у разі малих проміжків. При зазорі більше одного діаметра трубопроводу коливання стабілізувалися і трубопровід починав працювати в режимі, що відповідає його обтіканню необмеженим потоком. У цьому випадку відхилення становили від 11,2 до 0,4% діаметрів труби. При зазорі менше одного діаметра коливання мали нестабільний характер із слабкою відтворюваністю максимальних відхилень трубопроводу від рівноважного стану.

У ході досліджень було також встановлено, яким чином відстань від поверхні, що екранує, впливає на характер зміни коефіцієнта підйомної сили.

На графіку видно, що найбільші відхилення трубопроводу від свого рівноважного становища виявлялися у разі малих проміжків. При зазорі більше одного діаметра трубопроводу коливання стабілізувалися і трубопровід починав працювати в режимі, що відповідає його обтіканню необмеженим потоком. У цьому випадку відхилення становили від 11,2 до 0,4% діаметрів труби. При зазорі менше одного діаметра коливання мали нестабільний характер із слабкою відтворюваністю максимальних відхилень трубопроводу від рівноважного стану. Кожна експериментальна точка показана на графіку є середнім результатом 20 ідентичних вимірів.

У ході експериментальних досліджень було також встановлено, яким чином відстань від поверхні, що екранує, впливає на характер зміни коефіцієнта підйомної сили. Вимірювання підйомної сили проводилися за допомогою електронного динамометра Sundoo SP-10, точність вимірів якого становила 0,005Н, за абсолютної похибки, що дорівнює 0,5%. Перерахунок його показань проводився за відомим виразом для підйомної сили

$$C_y = \frac{F_y}{\frac{\rho V^2}{2} S} \quad (1)$$

де F_y – підйомна сила, Н; ρ – щільність води, кг/м^3 ; V – швидкість потоку, м/с ; S – площа перетину трубопроводу, м^2 .

Результати виконаних вимірів показано на рисунку 6. На графіку видно, що розділювальною межею першого та другого інтервалів тепер є величина зазору між трубопроводом та плоским екраном не

$\frac{D}{H} = 0.09$, а $\frac{D}{H} = 0.11$. Також, наведені на графіку експеримен-

тальні криві характеризуються відсутністю яскраво вираженого пікового значення, при якому зі зростанням величини зазору між трубопроводом і жорстким екраном спостерігається значне зменшення величини коефіцієнта підйомної сили. Область максимального значен-

ня є досить широкою і лежить в інтервалі $\frac{D}{H} = 0.09 \div 0.12$.

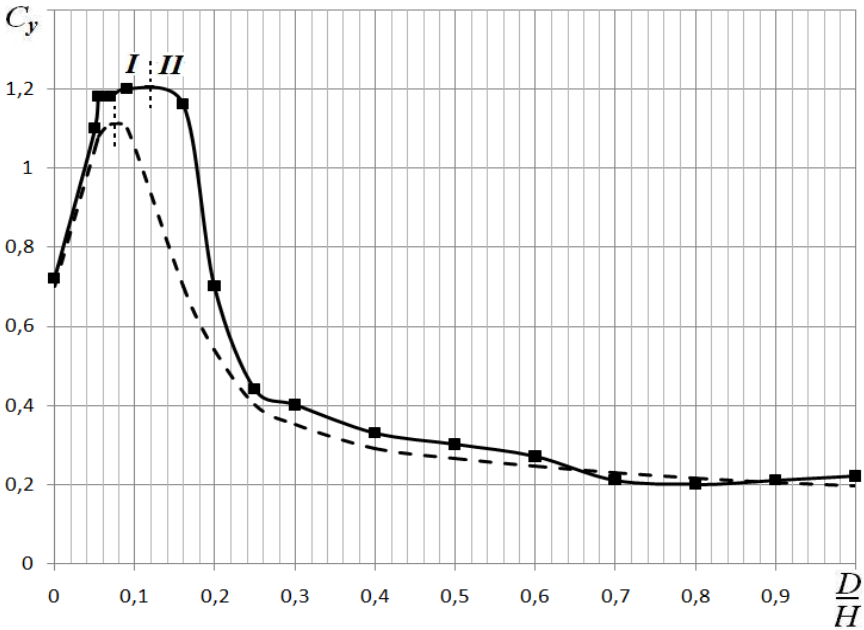


Рис. 6. Залежність коефіцієнта підйомної сили C_y від відстані між трубопроводом і поверхнею, що екранує

В ході досліджень було встановлено, що при малих зазорах між циліндричним трубопроводом і плоским екраном, які відповідають $\frac{D}{H} < 0,7$ коефіцієнт підйомної сили починає змінюватися в режі-

мі, який повністю відрізняється від випадку обтікання трубопроводу необмеженим потоком. Під час цього режіму через інтенсивні процеси вихороутворення і сильну турбулізацію потоку в щільному просторі спостерігався розкид показань і зміщення у велику сторону частот коливань трубопроводу. Ці результати показано на рисунку 7 де видно, як змінюється частота коливань труби залежно від величини зазору. Всі наведені на графіку експериментальні значення відповідають числу Рейнольдса потоку, що дорівнює $Re=0,238 \cdot 10^6$. Величина вхідної швидкості потоку становила 1,1 м/с.

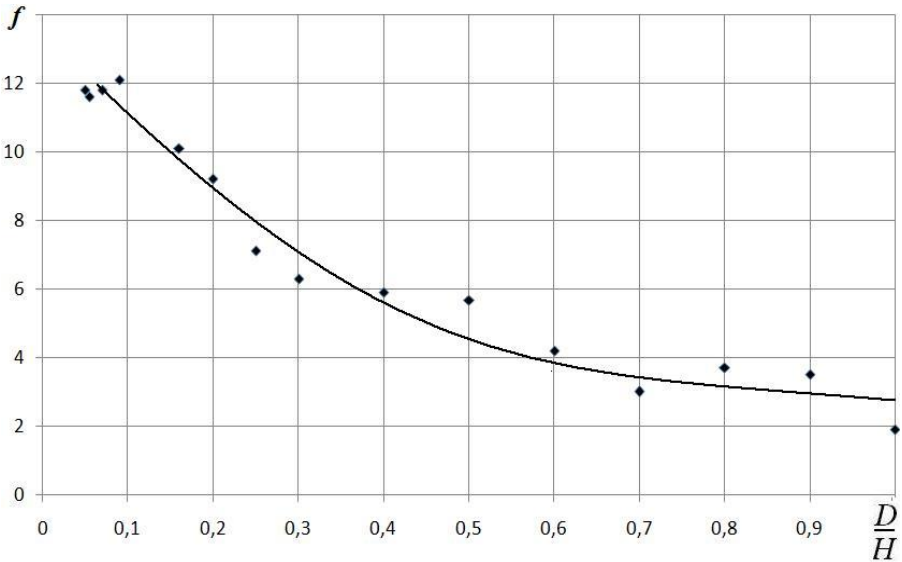


Рис. 7 Вплив величини зазору між екраном та гнучким трубопроводом на його частоту коливань

Аналіз графіка дозволяє зробити висновок, що частота коливань гнучкого трубопроводу зростає у разі зменшення величини щілинного зазору. Її максимальне значення було отримано на відстані від екрана, що дорівнює 9% діаметра труби. Слід зазначити, що зміщення вниз частоти коливань зі зростанням висоти щілинного зазору в основному викликалися зміною епюри тиску на трубопроводі, що обтікається, і виникаючим градієнтом тиску на екрануючій поверхні. У цьому випадку відповідно до результатів вимірювань роботи [1] відбувається зміщення точки відриву від нижньої поверхні труби у бік донної частини трубопроводу та встановлюється практично симетричне положення верхньої та нижньої точок відриву. Це відповідає тому випадку коли характер течії поблизу циліндра принципово змінюється. Він змінюється від різкої асиметрії у бік практично повного симетричного обтікання.

Під час проведення досліджень була вимірювана частота коливань гнучкого трубопроводу при динамічних (виникають тільки за рахунок відриву вихрової пелени від поверхні труби) і вимушених коливаннях.

На рисунку 8 показано яким чином при відриві потоку від стінок труби із зовнішнім діаметром 50 мм змінюється частота її природних коливань f .

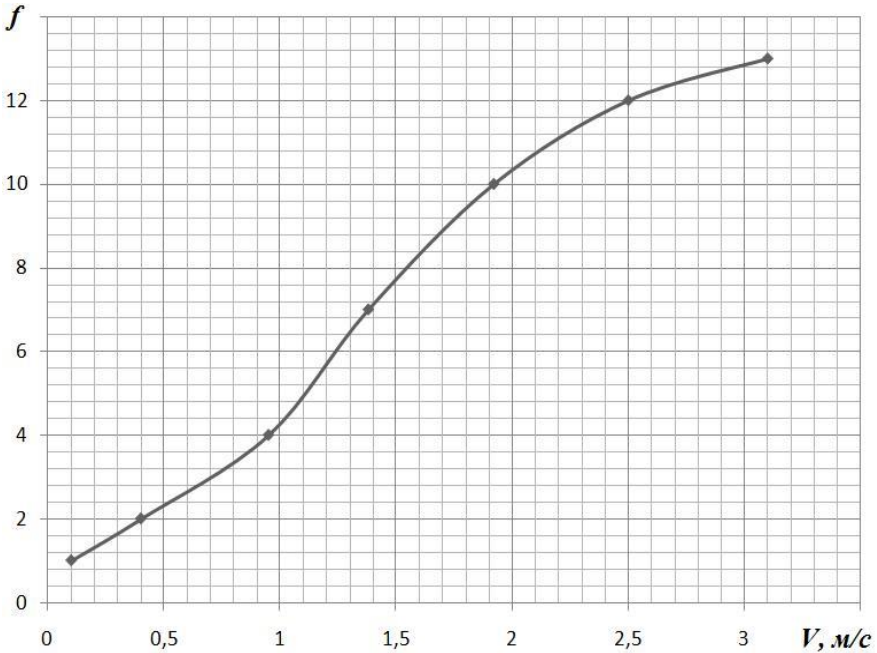


Рис. 8. Вплив швидкості потоку на частоту коливання гнучкого трубопроводу

Залежність побудована по відношенню до швидкості потоку, що набігає V . Відкладені вздовж вертикальної осі чисельні значення вимірюваних частот відповідають інтервалу часу вимірювання рівному 10 секунд. На графіці видно, зростання швидкості завжди призводить до нестійкої роботи трубопроводу – частота коливань збільшується, а амплітуда відхилення його середньої точки постійно зростає.

3. Висновки.

Під час сумісної роботи багатофункціональних суден підтримки в комбінації з працюючою нафто-або газодобувною платформою дуже важливою проблемою є знаходження основних ефектів та хара-

ктеристик процесу впливу відриву потоку на обтікання гнучкого трубопроводу

Частота коливань гнучкого трубопроводу завжди зростає у разі зменшення величини щілинного зазору між трубопроводом і поверхнею, що екранує. В якості такої поверхні може виступати як корпус судна, так і морське дно.

При малих зазорах між циліндричним трубопроводом і плоским екраном, які відповідають $\frac{D}{H} < 0,7$ коефіцієнт підйомної сили починає змінюватися в режимі, який повністю відрізняється від випадку обтікання трубопроводу необмеженим потоком.

Збільшення діаметра труби при інших ідентичних умовах призводить до більш раннього наступу автотельних коливань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bearman P.W., Wadcock A.J. The interaction between a pair of circular cylinders normal to streams. J. Fluid mech., part 3, vol. 61, 1973.
2. A. Esmaili. Simulation of a sub-sea gas pipeline in persian gulf to estimate the physical parameters. 20th International Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2012. 25-29 August 2012, Prague, Czech Republic. Режим доступу: <https://pdf.sciencedirectassets.com/278653>
3. A. Kuntz. Hydraulics system: fundamental basics of hydraulics engineering system. Independently published, 2020. 340 p.
4. Jae-Won O., Chang-Ho L., Sup H., Dae-Sung B., Hui-Je C., Hyung-Woo K. (2014). A study of the kinematic characteristic of a coupling device between the buffer system and the flexible pipe of a deep-seabed mining system. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2014, № 6(3), pp. 652–669.