

Дослідження вібрацій ліфтових колон підземних сховищ газу

С. Савула¹, к. т. н.; Є. Харченко², д. т. н., проф.; А. Кичма², к. т. н., доц.

¹Управління магістральних газопроводів «Львівтрансгаз»; 79053, м. Львів, вул. І. Рубчака, 3; e-mail: savula@ltg.lviv.ua

²Національний університет «Львівська політехніка»; 79013 м. Львів, вул. С. Бандери, 12; e-mail: akychma@gmail.com

Abstract. The results of experimental investigation of the dynamic column pipe of the underground gas tank storage are considered. It has been determined that the amplitudes of the lateral vibrations of the lower part of column considerably exceed the amplitudes of the longitudinal vibrations. The greater levels of vibrations are characteristic of the processes of gas pumping out the storage, the smaller ones are characteristic of the gas pumping down into the storage. Frequency range has been determined and vibrations spectral analysis has been made. It has been discovered that with the increase of the column length located in the perforation casing column area the amplitudes of column pipe vibrations increase considerably.

Key words: experimental investigation, dynamic column pipe, underground gas, lateral vibrations

1. Вступ. У нинішній час забезпеченню надійності та технічній діагностиці ліфтових колон приділяється велика увага [1–4, 6]. Як відомо з досвіду експлуатації підземних сховищ газу [1], основною причиною втрати працездатності ліфтової колони є самовільне відгвинчування її нижніх труб. Падіння цих труб у свердловину призводить до їх виходу з ладу та до необхідності проведення ловильно-ремонтних робіт, що потребують великих затрат.

У ліфтових колонах використовуються муфтові з'єднання з конічною різью, для якої у стані спокою забезпечується умова самогальмування. Однак, інтенсивні вібрації насосно-компресорних труб, збудені турбулентними явищами у газових потоках, призводять до зменшення ефективного коефіцієнта тертя в різі. А взаємодія насосно-компресорних труб зі стінкою свердловини – до появи крутних моментів у ліфтовій колоні. Внаслідок цього муфтові з'єднання можуть поступово ослаблюватися, а потім і повністю розгвинчуватися. Дослідження, спрямовані на визначення впливу вібрацій ліфтової колони на умови роботи різьових муфтових з'єднань викладені у статтях [3, 6]. У праці [4] відмічається небезпека шкідливої дії вібрацій ліфтових колон на наземне обладнання свердловин. У той же час, характер цих вібрацій вивчений недостатньо.

Ефективним способом зниження впливу вібрацій на працездатність ліфтових колон є застосування спеціальних віброізоляторів [2]. Однак, раціональну жорсткість віброізолятора можна визначити лише за відомих параметрів збудення [3, 6]. Амплітуди і частоти вібрацій реальної ліфтової колони з достатнім ступенем достовірності можна знайти лише експериментальним шляхом.

Саме тому, мета нашої роботи полягає в експериментальному визначенні параметрів вібрації ліфто-

вих колон підземного сховища газу під час відбору та під час закачування газу.

2. Методика проведення експериментальних досліджень та їх технічне забезпечення. Експериментальні дослідження динаміки ліфтової колони проводилися в реальних умовах експлуатації Більче-Волицько-Угерського підземного сховища газу під час відбору газу на свердловині №241 та під час закачування газу на свердловинах №34 і №241. Технічні параметри зазначених свердловин: довжина і умовний діаметр колони насосно-компресорних труб свердловини №241 становлять 1039 м та 114 мм, інтервал перфорації колони знаходиться на глибині від 997 м до 1064 м, робочий тиск газу у свердловині під час відбору становив 2,10 МПа, під час закачування – 3,05 МПа. Довжина і умовний діаметр колони насосно-компресорних труб свердловини №34 становлять 1025 м та 114 мм, інтервал перфорації колони знаходиться на глибині від 972 м до 1038 м, робочий тиск газу у свердловині під час закачування становив 3,14 МПа. Отже, інтервали перфорації обсадних колон свердловин №241 і №34 є майже однаковими. На свердловині №241 цей інтервал становить 67 м, а на свердловині №34 – 66 м. Ліфтова колона на свердловині № 34 встановлена таким чином, що відстань від її нижнього кінця до нижньої межі перфорації дорівнює 13 м, тобто, довжина ділянки ліфтової колони, яка знаходиться безпосередньо в зоні перфорації, становить 53 м. На свердловині №241 відстань від нижнього кінця ліфтової колони до нижньої межі перфорації дорівнює 25 м, а довжина ділянки ліфтової колони, яка знаходиться безпосередньо в зоні перфорації, становить 42 м.

Схема вимірювального тракту для реєстрації віброприскорень наведена на рис. 1, де 1 – спеціальний зонд з давачами; 2 – вхідний блок комунікації; 3 – блок попередніх підсилювачів; 4 – цифровий перетворювач “аналог-код”; 5 – адаптер типу АХУ2.200.001; 6 – паралельний порт комп'ютера; 7 – електронний осцилограф С1-55; 8 – блок управління рухомим важелем корпусу зонду; 9 – блок живлення, що складається з двох акумуляторних батарей загальною напругою $U=24$ В; 10 – блок живлення комп'ютера; 11 – частотомір для контролю частоти мережі живлення.

В корпусі спеціального зонда (рис. 2) встановлені давачі для реєстрації віброприскорень у трьох взаємно перпендикулярних напрямках: вісь одного з них розміщена паралельно до осі зонда (давач реєструє вертикальні коливання), а осі двох інших давачів розміщені перпендикулярно до осі зонда (давачі реєструють горизонтальні коливання). Для надійного притискання зонда (рис. 2) до внутрішньої поверхні ліфтової колони і його фіксації в робочому положенні

на корпусі 1 встановлено рухомий важіль 2 з можливістю плавного кутового переміщення за допомогою електромеханічного приводу. В нижній торцевій частині корпусу 1 передбачена різь, за допомогою якої приєднується додатковий вантаж 3 для того, щоб зрівноважити виштовхувальну силу, зумовлену тиском газу у свердловині, і забезпечити плавне опускання зонда під дією сил земного тяжіння. Вага додаткових вантажів добирається з урахуванням пластового тиску у свердловині і виду технологічного процесу (відбір чи закачування газу). На верхньому торці зонда розташоване комутаційне з'єднання 4, за допомогою якого зонд сполучається з електричною мережею і одночасно кріпиться до тросового кабеля.

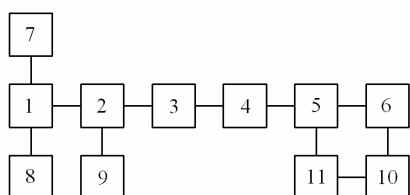


Рис. 1. Схема вимірювального тракту.

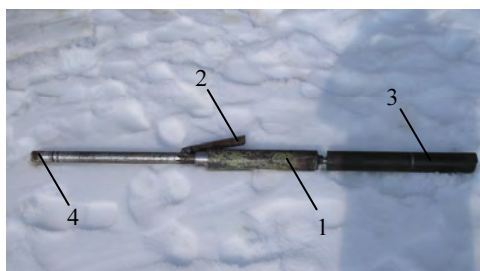


Рис. 2. Спеціальний зонд з датчиками віброприскорень.

Як перетворювачі динамічних коливань використовували модифіковані сейсмодавачі індукційного типу СВ-10Ц, у яких передбачена можливість регулювання власної частоти. Ці давачі виконані герметично і сприймають як вертикальні, так і горизонтальні механічні коливання. Вібрації об'єкта, на якому встановлений давач, викликають переміщення його інерційного елемента відносно корпусу, внаслідок чого в котушці наводиться електрорушійна сила індукції. Напрямок, що одержується на виході кожного з давачів, подається за допомогою екранованого семижилкового тросового кабеля на вхід цифрової сейсмозвільної станції "Прогрес" [5]. Причому, вхідний опір реєстраційного цифрового пристрою повинен бути не меншим, ніж 10 кОм. Коефіцієнт перетворення сейсмодавача СВ-10Ц становить $(18 \pm 12 \%)$ Вс/м, а ступінь затухання – $0,6 \pm 15 \%$. Маса давача не перевищує 0,22 кг.

Для забезпечення можливості проведення дослідних робіт у свердловині, в якій газ перебуває під значним тиском, був виготовлений спеціальний лубрикатор з регульованим гумовим сальником. Це дозволило підтримувати достатню герметизацію свердловини як під час опускання, так і під час піднімання зонда. Фонтанна арматура однієї із свердловин з лубрикатором та з підіймальною установкою подана на

рис. 3. Для установки лубрикатора 1 на фонтанній арматурі 2 і подачі тросового кабеля з зондом використовували самохідну вантажо-підіймальну установку 3.

Тросовий кабель 1 (рис. 4) приводився в рух за допомогою лебідки 2 з автономним приводом і системи блоків вантажопідіймальної установки. Встановлений на лебідці лічильник глибини дає можливість визначити місцезнаходження зонда у ліфтовій колоні свердловини. Сигнали від давачів передаються по намотаному на барабан лебідки 2 рухомому тросовому кабелю 1, через семиканальний струмознімач 3 та нерухомий кабель 4 до апаратури для настройки і запису сигналів. Спочатку вони потрапляють до 48-канального вхідного блока комунікації 1 (рис. 5). А далі – через блок попередніх підсилювачів 2, цифровий перетворювач "Аналог-Код" 3 і адаптер АХУ2.200.001 – до паралельного порта комп'ютера 4.



Рис. 3. Фонтанна арматура свердловини № 241 з лубрикатором і підіймальна установка під час опускання зонда.

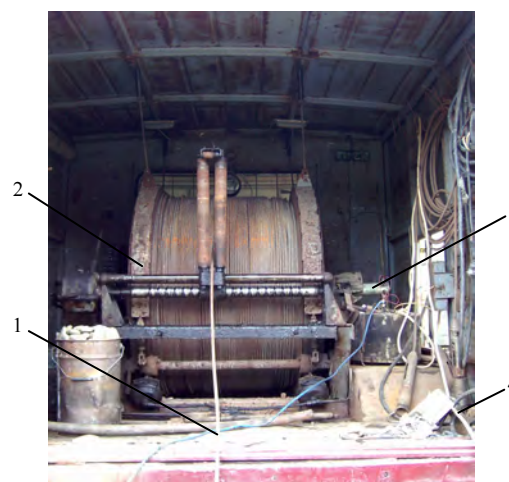


Рис. 4. Лебідка з рухомим тросовим кабелем і струмознімачем.

Попередні підсилювачі 2 з фільтрами високих (ФВЧ) і низьких (ФНЧ) частот призначені для підси-

лення сигналів датчиків з одночасним зниженням рівня шумів вимірювального тракту і частотною фільтрацією сигналів. Перетворювач "аналог-код" призначений для того, щоб подати результати вимірювання у вигляді двійково-закодованого числа. До вимірювального тракту ввімкнено електронний осцилограф 5 типу С 1-55, за допомогою якого контролюється працездатність кожного з каналів, а також функціонування програмного забезпечення комп'ютера. За допомогою блоку управління 6 подається живлення до приводу рухомого важеля і здійснюється контроль надійності фіксації зонда в ліфтовій колоні.



Рис. 5. Апаратура для настройки і запису сигналів з вібродатчиків.

Для визначення чутливості вимірювального тракту проводили його тарування на вібраційній платформі. Спочатку виконували калібрування вібраційної платформи за допомогою вимірювального мікроскопа. Після цього на платформі нерухомо закріплювали індукційні вібродатчі і здійснювали синхронний запис сигналів усіх датчиків, коректуючи фазові і амплітудні спотворення сигналів кожного датчика. Тарування вібродатчиків проводили в діапазоні віброприскорень від 0 до $3g$ і в частотному діапазоні від 3 Гц до 130 Гц. Приклади тарувальних залежностей наведені на рис 6.

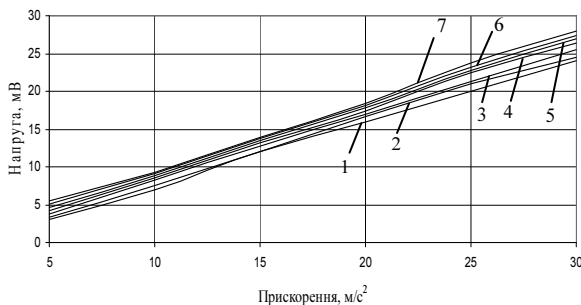


Рис. 6. Тарувальні залежності амплітуди напруги датчика u від амплітуди віброприскорення w для фіксованих значень частоти f :
1 – $f=5$ Гц; 2 – $f=20$ Гц; 3 – $f=40$ Гц; 4 – $f=60$ Гц; 5 – $f=80$ Гц;
6 – $f=100$ Гц; 7 – $f=130$ Гц.

Для розширення можливостей сейсмозвільдальної станції при роботі з вібродатчиками написані додаткові підпрограми, адаптовані до програмного забезпечення станції "Прогрес", що дало можливість проводити спектральний аналіз вібрацій ліфтової колони, формувати числові масиви і будувати графічні

залежності вібраційних процесів і амплітудно-частотних характеристик.

3. Результати експериментальних досліджень.

Реєстрацію часових залежностей віброприскорень у трьох взаємно перпендикулярних напрямках виконували протягом часових інтервалів тривалістю 15 с, починаючи від нижнього кінця колони, з кроком 100 м по висоті. Часові залежності віброшвидкостей одержували шляхом числового інтегрування функцій віброприскорень, а часові залежності вібропереміщень, відповідно, шляхом числового інтегрування функцій віброшвидкостей. Для прикладу на рис. 7–9 зображені осцилограми вібропереміщень, віброшвидкостей та віброприскорень нижнього кінця ліфтової колони свердловини № 241 в напрямках горизонтальних осей y (s_y) і z (s_z) та віброзміщення центра поперечного перерізу ліфтової труби відносно осі свердловини s під час відбору газу. Як видно з одержаних графічних залежностей, нижній кінець ліфтової колони здійснює поперечні коливання, збуджені турбулентним рухом газу у свердловині, зі значними амплітудами, що сягають проміжку між ліфтовою і обсадною колонами. Слід зазначити, що амплітуда вертикальних вібрацій нижнього кінця при цьому є на 1–2 порядки меншою у порівнянні з амплітудами поперечних коливань.

Залежності максимальних вібропереміщень поперечних перерізів ліфтових колон від поздовжніх координат цих перерізів ілюструють графіки, подані на рис. 10. Наведені криві показують, що існує загальна тенденція до збільшення амплітуд вібрацій при переході від верхніх труб колони до нижніх. Почергове зростання та спадання функцій свідчить про те, що на амплітуди вібрацій суттєво впливає взаємодія ліфтової колони з обсадною, обумовлена криволінійністю осі свердловини та її відхиленням від вертикалі. Більші амплітуди вібрацій одержані для режиму відбору газу, менші – для режимів закачування. У випадку інтенсивних вібрацій ліфтової колони основну участь у динамічному процесі бере її нижня частина. Просторовий характер вібрацій насосно-компресорних труб підтверджують графіки траєкторій руху і годографів прискорення нижнього кінця колони (рис. 11, 12). На графіках проявляються ударні явища, викликані взаємодією ліфтової колони з обсадною. Піки максимальних відхилень насосно-компресорної труби від осі свердловини приблизно розміщені по колу (незначні відхилення пояснюються похибками числового інтегрування функцій вібропереміщень та віброшвидкостей). Достовірність одержання траєкторії підтверджується тим, що під час ударної взаємодії насосно-компресорних і обсадних труб кути падіння приблизно дорівнюють кутам відбивання. Високочастотні коливання віброприскорень відбуваються зі значно меншими амплітудами, ніж низькочастотні, тому вони мало впливають на форми траєкторій руху центрів поперечних перерізів насосно-компресорних труб.

Амплітудно-частотні залежності, одержані на основі спектрального аналізу віброприскорень (рис. 13) показують, що найбільші амплітуди вібрацій спостерігаються на частотах 5–30 Гц. Коливання з дещо меншими амплітудами відбуваються на частотах 30–100 Гц. Отже, під час проектування віброізоляторів

ліфтових колон необхідно брати до уваги частотний діапазон від 5 до 100 Гц.

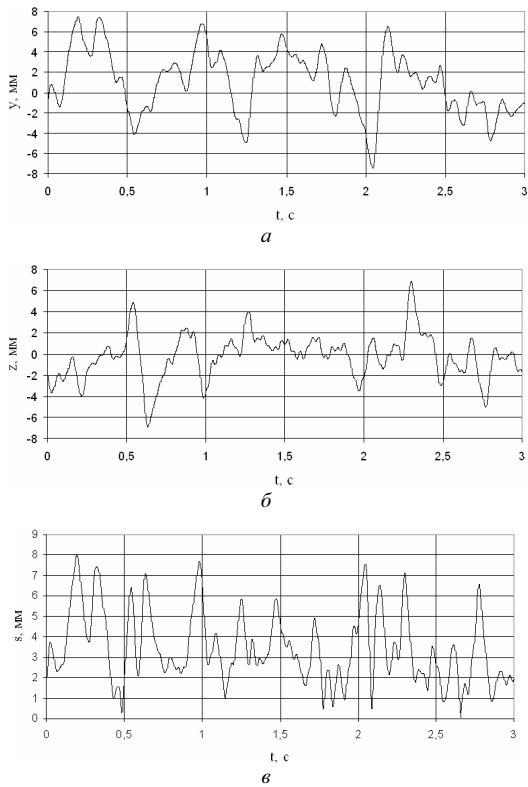


Рис. 7. Часові залежності вібропереміщень центра поперечного перерізу ліфтової колони в процесі відбору газу (свердловина № 241, глибина розміщення давачів 1035 м).

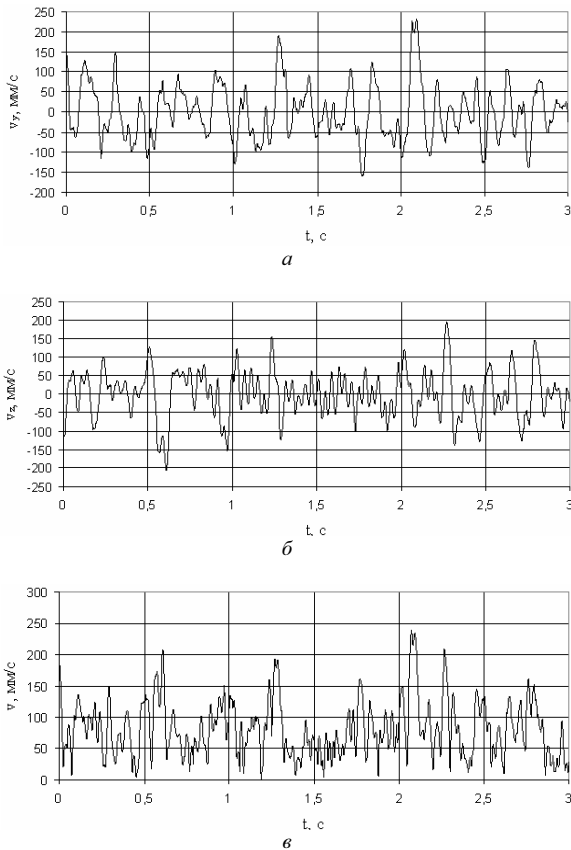


Рис. 8. Часові залежності віброшвидкостей центра поперечного перерізу ліфтової колони в процесі відбору газу (свердловина № 241, глибина розміщення давачів 1035 м).

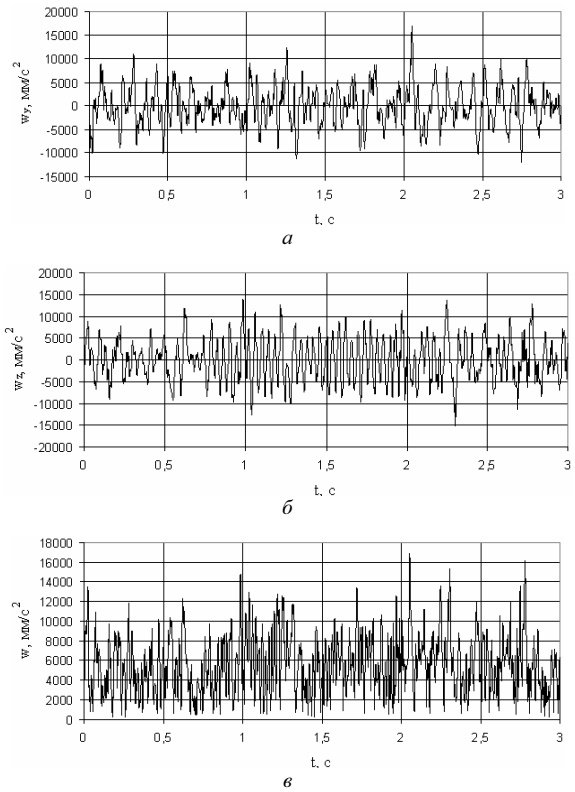


Рис. 9. Часові залежності віброприскорень центра поперечного перерізу ліфтової колони в процесі відбору газу (свердловина № 241, глибина розміщення давачів 1035 м).

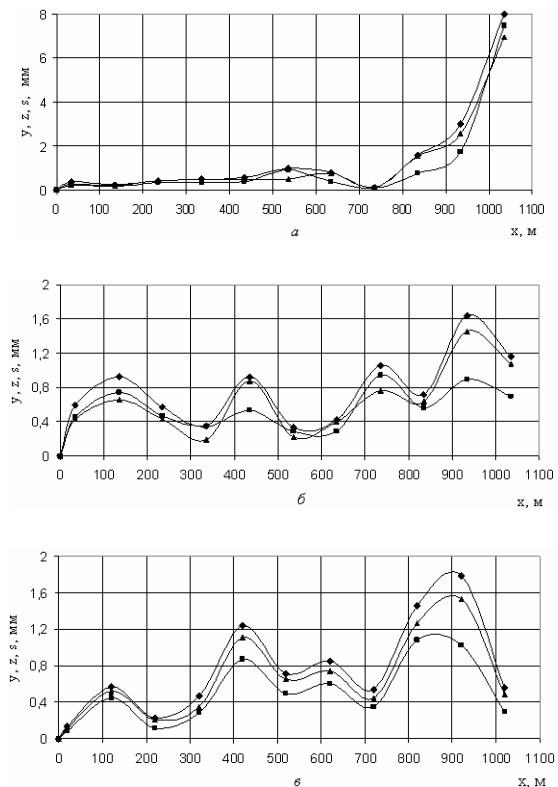


Рис. 10. Залежності вібропереміщень поперечних перерізів ліфтових колон свердловини № 241 (а, б) і свердловини №34 (в) від поздовжніх координат перерізів для режимів відбору газу (а) та заповнення сховища газом (б, в).

4. Висновки. Опрацьована методика і проведені експериментальні дослідження вібрацій ліфтових колон на реальних свердловинах підземних сховищ газу під час відбору газу та під час закачування.

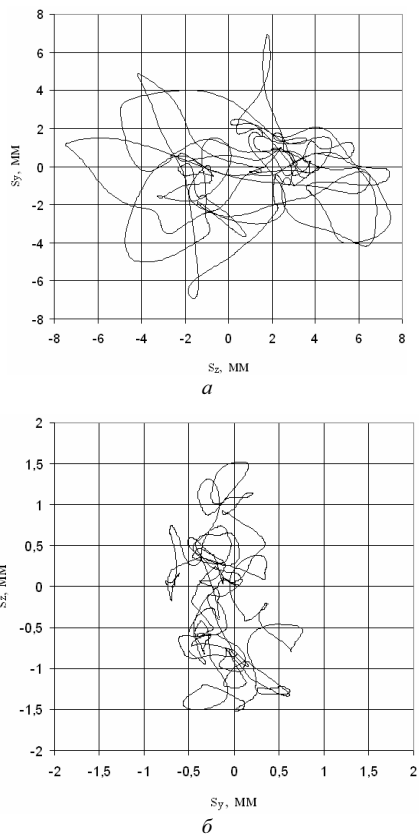


Рис. 11. Траєкторії руху центрів поперечних перерізів ліфтової колони свердловини № 241, одержані під час відбору газу у випадках закріплення давачів на глибині 1035 м (а) і 835 м (б).

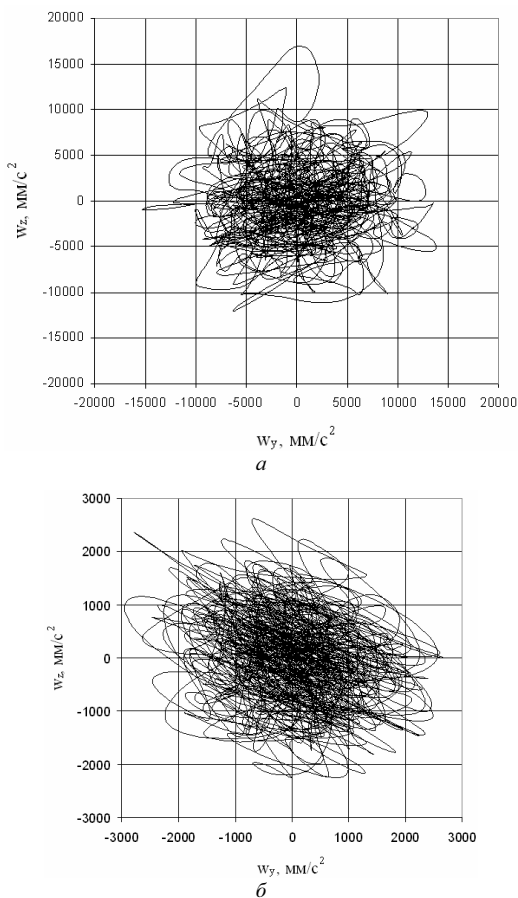


Рис. 12. Годографи прискорень центрів поперечних перерізів ліфтової колони свердловини № 241, одержані під час відбору газу у випадках закріплення давачів на глибині 1035 м (а) і 835 м (б).

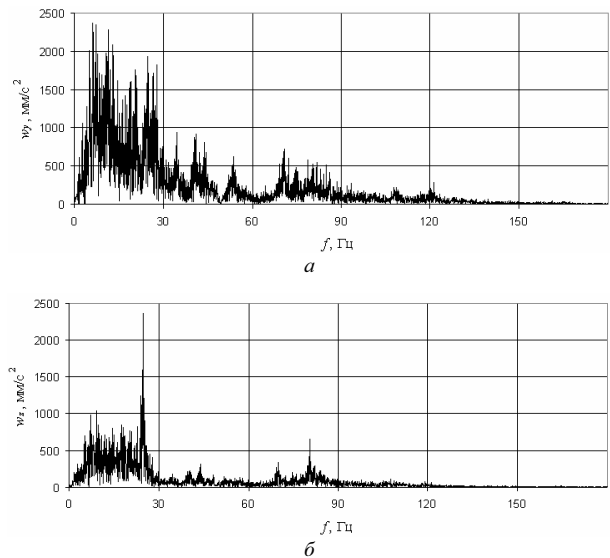


Рис. 13. Амплітудно-частотні характеристики поперечних коливань ліфтової колони свердловини № 241 під час відбору газу (глибина закріплення давачів – 1035 м).

Експериментально підтверджено, що ліфтова колона в процесі руху газу як у сховище, так і в зворотному напрямі, здійснює просторові коливання. Більші рівні вібрацій колони притаманні процесам відбору газу, дещо менші – процесам закачування. Амплітуди поперечних коливань нижньої частини колони значно перевищують амплітуди вертикальних коливань. Амплітуди вібрацій при переході від верхніх перерізів ліфтової колони до нижніх збільшуються.

В процесі проведення експериментальних досліджень виявлено, що найбільші рівні вібрацій спостерігаються у частотному діапазоні 5–30 Гц. Коливання з дещо меншими амплітудами проявляються на частотах 30–100 Гц.

Із збільшенням довжини ділянки ліфтової труби, яка знаходиться в області перфорації обсадної колони, інтенсивність коливань насосно-компресорних труб зростає.

- [1]. Войцицький В. П., Деркач М. П., Савків Б. П., Спанчак В. Ю. Саморозгвинчування фонтанних труб при експлуатації підземних сховищ газу та його попередження // Матеріали науково-практичної конференції УНГА “Нафта і газ”. Харків, 1996. С. 71.
- [2]. Декларативний патент №67304 А (Україна). Віброізолятор колони насосно-компресорних труб / С. Ф. Савула, В. Т. Колодій, Л. І. Гурняк, А. О. Кичма, С. В. Харченко. Опубл. В бюл., 15.06.2004, № 6.
- [3]. Савула С. Ф., Колодій В. Т., Харченко С. В., Кичма А. О. Оцінка впливу коливань колони насосно-компресорних труб на умови роботи різьбових з’єднань // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Вип. 2 (8). Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2004. С. 116–125.
- [4]. Требин Ф. А., Макогон Ю. Ф., Басниев К. С. Добыча природного газа. М.: Недра, 1976. – 386 с.
- [5]. Турлов П. А., Ямпольский А. М., Гольдштейн В. Л. Эксплуатация цифровых сейсморазведочных станций “Прогресс” / Под ред. Б. Л. Лернера. – М.: Недра, 1986, 144 с.
- [6]. Харченко С. В., Савула С. Ф. Математична модель поперечно-крутильних коливань експлуатаційної колони підземного сховища газу // Вібрації в техніці та технологіях. – 2006. – № 1(43). – С. 139–141.