

УДК 622.24

ВПЛИВ ВІБРАЦІЙ НА СИЛИ ПРИХОПЛЕННЯ БУРИЛЬНИХ ТРУБ ПРИ ЛІКВІДАЦІЇ УСКЛАДНЕНЬ

В. В. Рис

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (3422) 4-21-23; e-mail: math@nung.edu.ua*

Розглянуто вплив вібрацій на зміну сили прихоплення бурильної колони при роботі віброзбурювальних пристроїв. Проведено аналіз зміни властивостей ґрунтів під впливом вібрацій. Наведено числові дані зміни сили прихоплення бурильного інструменту під дією віброзбурювачів.

***Ключові слова:** прихоплення, бурильна колона, віброзбурювачі, прихоплююча сила, вібрації, вібров'язкість, зміна властивостей ґрунтів.*

Вступ

Одним із напрямків підвищення техніко-економічних показників буріння є зменшення витрат часу на ліквідацію аварій, який складає до 12% від всього балансу часу будівництва свердловини. Найбільш важким видом аварій в бурінні є прихоплення бурильного інструменту – процес, який характеризується втратою рухомості колони труб.

Для боротьби з ними використовуються різноманітні способи та механізми. Застосування вібраційних механізмів видається одним з пріоритетних напрямків внаслідок достатньої простоти і великої кількості режимів роботи без зміни самого механізму. Крім того, вібратори володіють значною довговічністю, тобто вони є багаторазового використання.

Розглядаючи вплив вібрацій на різні типи прихоплень можна зробити розрахунок роботи гідровібратора (частоти ударів, сили ударів) для швидшого вивільнення бурильної колони від прихоплення. Зважаючи на те, що більшість прихоплень є комбінованими, а для зміни режиму роботи достатньо тільки змінити швидкість подачі бурового розчину, силу натягу бурильної колони і швидкість обертання ротора, використання гідровібратора є уніфікованим способом ліквідації прихоплення бурильної колони. Особливо ефективним є режим роботи, при якому в колоні виникають резонансні коливання, що посилює їх вплив на процес ліквідації прихоплення бурильного інструменту.

Процеси, які протікають в прихопленій зоні при ліквідації прихоплення, складні і маловивчені. Під впливом вібраційної дії, яка реалізується через бурильну колона за допомогою удару або віброзбурювача

[3], з урахуванням конкретних геологічних умов, змінюються сили стримування, які, в свою чергу залежать від властивостей ґрунтів, амплітуди та швидкості поширення хвиль в ґрунтовому середовищі та ін. При ударному збуренні спектр частоти коливань верхньої і нижньої частин бурильної колони дуже широкий, оскільки генерується хвиля складного просторового виду (хвиля поширюється по колоні труб і передається оточуючому середовищу).

Вплив вібрацій на процес ліквідації прихоплення бурильної колони

На ефективність ліквідації прихоплення бурильної колони має великий вплив ефект зміни фізико-механічних властивостей середовища, яке зумовлює прихоплення, під дією вібраційних полів. Ці поля виникають в результаті віброзбурювання прихопленої частини бурильної колони.

Відомо, що під дією вібрацій зменшується коефіцієнт тертя, в результаті чого знижується розсіювання енергії. Багато середовищ, які при малих швидкостях деформацій зсуву володіють тільки пластичними або пружними властивостями (або тими й іншими), при підвищених швидкостях зсуву починають проявляти в'язкі властивості – їх опір зсуву починає залежати від швидкості деформації (структурна в'язкість).

Структурною в'язкістю і навіть тиксотропією, володіють у тій чи іншій мірі численні гірські породи (особливо глинисті) а також тверда фаза бурового розчину, в якому частинки дисперговані до колоїдних розмірів. Ефекти структурної в'язкості і навіть тикстотропії ріднить їх з ефектом зниження уявного коефіцієнта тертя.

Таким чином, фізико-механічні властивості порід при ліквідації прихоплення ударним способом, який супроводжується передачею вібраційної енергії від колони до середовища зони прихоплення, характеризуються коефіцієнтом вібров'язкості. Передача коливань від прихопленої бурильної колони в прихоплену зону супроводжується руйнуванням її структури. Навколо труб в зоні прихоплення виникають розріджені зони дуже малої товщини, які нагадують суспензію або колоїдний розчин.

Осьове зусилля (попередній натяг) необхідне для підйому аварійної колони із такої зони лише на 20-30% перевищує вагу інструменту і є результативним за рахунок переходу сухого тертя в гідродинамічне. Застосування нафтових ванн також дає результат, який пояснюється переходом сухого тертя в гідродинамічне.

Прихоплення бурильної колони за рахунок обвалів стінок свердловини кусками твердих порід, ліквідують шляхом застосування віброударних пристроїв, що веде до зміни коефіцієнту тертя і сил зчеплення. В цьому випадку динамічний коефіцієнт тертя буде в декілька раз менший за коефіцієнт тертя спокою. Окрім того проходить втомне ре-

гулювання гострих виступів і зерен породи, а також попадання в тріщини і зазори рідини.

Зусилля підйому інструменту, який визначається, в основному, попереднім натягом, в даному випадку буде значно більшим, ніж у попередньому випадку. Виходячи з цього, необхідно більш раціонально використовувати хвильову енергію верхньої частини колони, яка виникає при роботі ударного механізму.

Зміна властивостей ґрунтів під впливом вібрацій

Вібраційний вплив використовують для інтенсифікації різних технологічних процесів. Експерименти, проведені В.Н. Челомеєм, Р.А. Тетевосяном, Б.Г. Новіцьким, Р.Ф. Ганієвим, Л.Е. Українським, Г.М. Островським, Р.Ш. Абієвим та іншими вченими, показали, що в умовах резонансу навіть при відносно низьких частотах вібрації масообмінні процеси в гетерогенних системах проходять особливо інтенсивно.

Вібрація відіграє особливу роль в процесах розділення, перемішування, транспортування, генерування повільних потоків сипучих сумішей. Вона дозволяє ефективно боротись з силами типу сухого тертя, переводячи їх в сили типу в'язкого тертя.

Досліди показують, що величина внутрішнього тертя під впливом вібраційних навантажень змінюється. Так, зокрема, М.І. Капустін у роботі [18] наводить значення коефіцієнта внутрішнього тертя при вібраціях, а також після вібрації.

Під впливом вібрації в середовищі проходять різкі зміни. Частинки, розміщені в зоні дії вібростанини, наприклад глибинного вібратора, під впливом інтенсивної вібрації відокремлюються від загального масиву і приводяться в коливний рух біля свого рівноважного положення. При цьому частинки переміщуються по деякій траєкторії відносно вібратора.

Амплітуди переміщень окремих частинок будуть зменшуватись із збільшенням відстані від центра вібрації і згасати, коли сили інерції, які розбивають частинки, будуть менше сил зчеплення і тертя між ними. Це не означає, що вібрація всього масиву зупинилась, але показує, що вплив на середовище на цих ділянках різко зменшився. Деформації ґрунту тут вже не супроводжуються переміщенням окремо взятих частинок і зумовлені тільки пружними деформаціями скелета.

Досліди з визначення умовних коефіцієнтів тертя при вібрації проводили на спеціальній вібраційній установці, яка дозволяла змінювати частоту і амплітуду коливань у певних межах. Експерименти з визначення коефіцієнта внутрішнього тертя проводили як з поверхневим, так і з глибинним вібратором. При проведенні досліджень з визначення умовного коефіцієнта тертя використовували середньозернистий, дрібнозернистий піски, дрібнозернистий пісок с домішками мулу, супіски, кембрійську глину і суглинок.

Для сухого дрібнозернистого піску коефіцієнт внутрішнього тертя без вібрації складає в середньому 0,47 і в залежності від утрамбування коливається в межах від 0,37 до 0,51 (для злежаного і утрамбованого піску). Під час вібрації коефіцієнт внутрішнього тертя різко зменшується і складає 0,05-0,0087. Він виявився однаковим при вібруванні як поверхневим, так і глибинним вібратором. Коефіцієнт внутрішнього тертя піску зростає в результаті вібрації.

Як показали досліди, прискорення коливань і частота мають суттєве значення, що підкреслено проф. Д.Д. Барканом. Так, при частоті $\nu = 48$ Гц трамбування проходить більш інтенсивно і коефіцієнт внутрішнього тертя вищий, ніж для піску, утрамбованого з частотою $\nu = 20$ Гц.

Під умовним коефіцієнтом тертя розуміємо коефіцієнт тертя, що відповідає початку переміщення ґрунту по вібраційному столу. Він збільшується зі збільшенням швидкості переміщення.

Перш за все треба зауважити, що умовний коефіцієнт тертя піску по сталі при вібрації зменшується в 40 разів і більше, і що існують такі значення вологості, при яких він мінімальний.

Якщо простежити за зміною коефіцієнта тертя при вібрації в залежності від частоти, можна помітити різке зниження коефіцієнта тертя при певних частотах при будь-якій вологості піску. Таке ж явище можна відмітити і для дрібнозернистого піску як чистого, так і з домішками мулу. Коефіцієнт тертя значно зменшується при вібрації з частотою $\nu = 30$ Гц.

Різке зменшення коефіцієнту тертя як для дрібнозернистого, так і середньозернистого піску при частоті $\nu = 30$ Гц можна до певної міри пояснити тим, що при цій частоті настає відривання частинок від стола.

Сила тертя також буде змінюватись. Ця зміна буде тим більшою, чим більші частота і амплітуда. Найменше значення сили тертя, при якій буде проходити зсув вібруючої маси, буде тоді, коли так званий умовний коефіцієнт тертя дорівнюватиме нулю. Але досліди показують, що при вібраціях вологого піску з частотою $\nu = 30$ Гц сильно виділяється вода. Частинки скелету ґрунту знаходяться при цьому у зваженому стані, і вся маса ґрунту більше нагадує суспензію, ніж звичайний піщаний ґрунт, зважаючи на що коефіцієнт тертя не рівний нулю.

Аналіз дозволяє стверджувати, що при вібраціях важких супісків коефіцієнт тертя також різко зменшується. Тут вплив вологості проявляється меншою мірою. Різке зменшення умовного коефіцієнту тертя настає також при частоті $\nu > 30$ Гц.

Досліди з кембрійською глиною різної вологості також дали цікаві результати. За частоти $\nu = 30$ Гц і амплітуді коливань $a=0,30$ мм спо-

стерігається різке зменшення коефіцієнта. Подальше збільшення частоти до 70 Гц при незмінній амплітуді не приводить до суттєвих змін.

Вологість, при якій значення коефіцієнта тертя глини по сталі мінімальні, знаходиться в межах 0-10%, а потім перевищує 25%. При вологості в межах 10-25% глина погано піддається обробці вібрацією.

В результаті тривалих дослідів відмічено, що при деяких частотах і амплітудах вібрації глина розріджується і «тече». При звичайних параметрах вібростола $\nu = 10 - 70$ Гц і $a = 0,30 - 0,35$ мм глина не зазнає суттєвих змін при вібрації.

Виявилось, що існують деякі оптимальні прискорення для різних матеріалів, при яких коефіцієнти тертя мінімальні. Вібрації зумовлюють, в основному, зменшення внутрішніх сил тертя і зчеплення в ґрунтах, що викликає цілий ряд своєрідних явищ.

Зменшення тертя при вібраціях в ґрунтах є основним фактором, що впливає на зміну властивостей ґрунтів. Було встановлено, що коефіцієнт внутрішнього тертя ґрунтів залежить від енергії коливань, зменшуючись із її збільшенням і прямує до деякої границі, яка приблизно на 25-30% менша початкового значення. Дослідження показали, що коефіцієнт внутрішнього тертя пісків залежить від прискорення коливань, зменшуючись з його збільшенням. Це зменшення тертя і загального опору зсуву ґрунтів під дією вібрації впливає перш за все на зменшення міцності ґрунтів і порушенні умов їх стійкості, причому особливо суттєво впливають вібрації на піщані ґрунти. Для ґрунтів з наявністю сил зчеплення вплив вібрацій на опір зсуву буде тим меншим, чим більше зчеплення і загальна зв'язність ґрунтів.

При деяких частотах коливань тертя в сипучих ґрунтах настільки зменшується, що вони стають подібними до рідин, а їх внутрішнє тертя близьке до нуля. Тобто, сухий пісок буде мало відрізнятися від стану важкої рідини.

Таким чином, при певних умовах ґрунти під дією вібрації отримують властивості в'язкої рідини, інакше кажучи, стають вібров'язкими. Вібров'язкість ґрунтів може характеризуватись деяким коефіцієнтом вібров'язкості, величина якого буде різною для різних ґрунтів і залежить від прискорення коливань, зменшуючись із його збільшенням.

Досліди також показують, що величина коефіцієнта вібров'язкості залежить від виду ґрунту, його фізичного стану і, особливо, від вологості. Для піску, насиченого водою, величина коефіцієнта вібров'язкості буде найменшою. Подібні результати отримані для глини і для суміші глини з піском.

Вплив вібрацій на пружні властивості ґрунтів незначний. В піщаних ґрунтах під впливом вібрацій можуть відбуватись тільки зміни взаємного розміщення частинок і відповідна зміна їх густини, що не впливає на пружні властивості пісків. Що стосується глинистих ґрунтів, то відомо, що під дією слабких вібрацій вони також майже не змінюють

своїх пружних властивостей. Під впливом сильних динамічних впливів, які здатні викликати руйнування структури ґрунту, пружні властивості глин будуть змінюватись суттєво.

Розрахункова оцінка параметрів коливань ґрунту при віброзанурюванні (вібровитягуванні) сваї

Вперше досліди по занурюванню в ґрунт елементів вібраціями були проведені Д.Д. Барканом в 1934 р.[1].

Головна причина зниження при віброзанурюванні опору ґрунту як по боковій поверхні, так і по лобовій його частині зв'язана із зниженням коефіцієнта тертя при вібраціях. В процесі віброзанурювання в деякій зоні навколо сваї порушується природна структура ґрунту. В водонасичених ґрунтах ефект зниження бокового опору ґрунту при віброзанурюванні сваї суттєво посилюється під дією натиску ґрунтової води, що витискується з пор ґрунту. Потік вільної води спрямовується в місця з найменшим опором і зважає ґрунтові частинки, тим самим послаблюючи їх зв'язок між собою і з поверхнею занурюваного елемента. При цьому водонасичені рихлі ґрунти розріджуються.

Спроби побудувати теорію віброзанурювання (вібровивільнення) сваї проводились різними дослідниками [1, 8]. Роботи в цій області велись в двох напрямках. До одного з них відносяться роботи Ю.І. Неймарка, І.І. Блехмана, М.Я. Кушуля і А.В. Шляхтина, А.С. Головачова, О.Я. Шехтер та інших дослідників [8], які будували теорії віброзанурювання на основі звичних поглядів на опір ґрунту при проникненні сваї (між поверхнею елемента і ґрунтом діють еквівалентні сили сухого тертя). До другого напрямку відносяться роботи Д.Д. Баркана [1], який припустив, що вплив вібрацій на величину внутрішнього тертя проходить в результаті зміни фізико-хімічних властивостей середовища. В результаті розріджений ґрунт отримує властивості нестискуваного в'язкого середовища. При цьому середовище характеризується змінним коефіцієнтом вібровязкості, який залежить від прискорення.

Із врахуванням явищ, що проходять в ґрунті при віброзанурюванні в зоні поблизу сваї, варто розглядати ґрунт як структурно-нестійке пружно-в'язко-пластичне середовище. При цьому до певного граничного тиску ґрунт веде себе як в'язко-пружне середовище (тіло Кельвіна), а при тиску, рівному граничному, як пружно-в'язко-пластичне тіло.

Залежність коефіцієнта в'язкості від прискорення можна виразити рівнянням зміни в'язкості, аналогічним залежності, запропонованої Н.Н. Масловим [3]:

$$\eta(a) = \eta_{\infty} + (\eta_0 - \eta_{\infty}) e^{-\frac{\tilde{\nu} a}{g}}$$

де η_0 , η_{∞} – початкові та кінцеві значення коефіцієнтів в'язкості; a – прискорення коливань ґрунту; g – прискорення вільного падіння; $\tilde{\nu}$ – коефіцієнт, що визначає степінь розструктурування середовища.

Початкові коефіцієнти в'язкості для різних ґрунтів можна вибрати згідно параметрів, наведених в [6].

Схожа залежність, що описує зниження бокового опору свай при віброзанурюванні (вібровивільненні), була використана Н.А. Преображенскою при описуванні результатів дослідів [14].

Результати визначення зміщень ґрунтового середовища у вигляді епюр зміни даних величин приведені на рис.1,2. З малюнків видно, що розрахункові компоненти зміщення ґрунту із збільшенням відстані від занурюваної свай зменшуються за експоненціальним законом, який описується відомою залежністю Б.Б. Голіцина [4]. Затухання вказаних компонент зміщень з глибиною також мають експоненціальний характер і багато в чому повторює запропоновану в цьому випадку залежність О.А. Савінова, що підтверджують реальні дослідження В.А. Васеніна [11].

Середня розрахункова амплітуда коливань на поверхні ґрунту складала

~12 мк (див. рис. 1), відповідна величина розрахункового прискорення в цьому випадку складе ~0,52 м/с². З урахуванням припущеної величини коефіцієнта передачі коливань ґрунту розрахункове прискорення повинне скласти ~0,21 м/с².

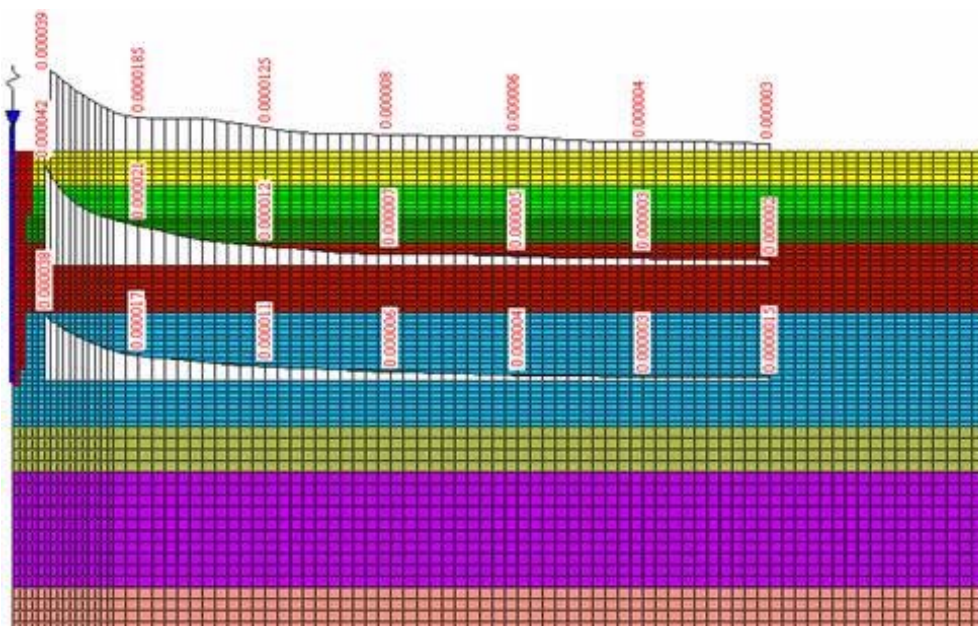


Рис. 1. Епюри максимальних вертикальних амплітуд коливань ґрунтового середовища в стабільному режимі при вібраційному занурюванні свай на глибину 10 м від поверхні (на відстані 1.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30 м від джерела на поверхні і на глибині 5 і 10 м)

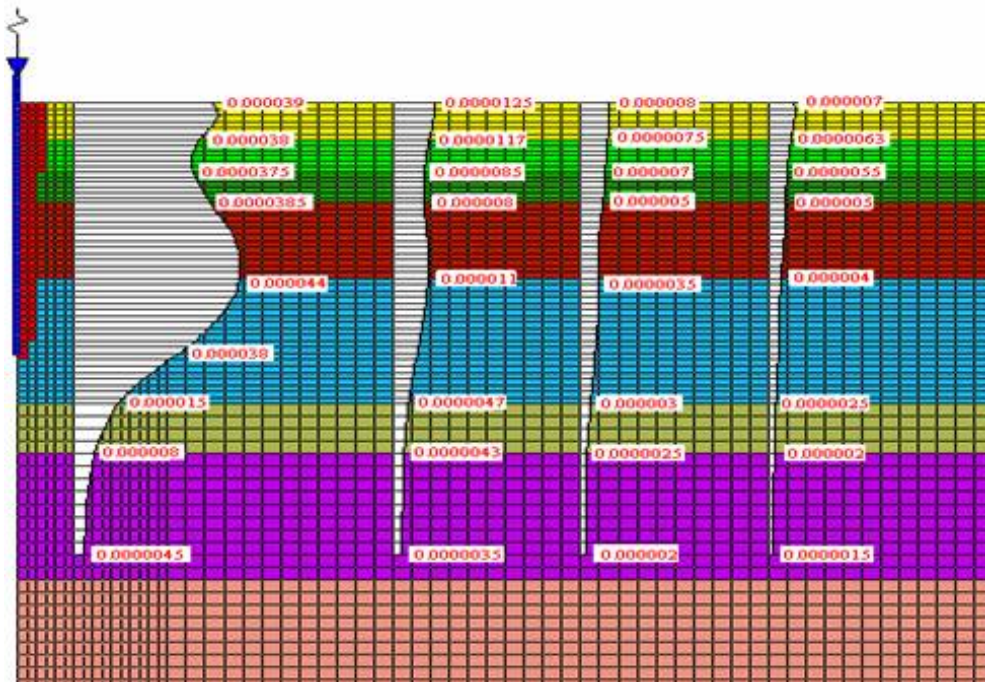


Рис. 2. Епюри максимальних вертикальних амплітуд коливань ґрунтового середовища по глибині при віброзанурюванні сваї на глибину 10 м з поверхні (епюри приведені на відстані 1,5, 10, 15, 20 м від джерела)

Результати аналізу процесу вібраційного занурення сваї в ґрунт відповідають натурним записам компонент зміщень, як за характером коливань, так і за величиною зміщень.

Таким чином, отримано можливість прогнозувати розподіл інтенсивності полів зміщень в ґрунтових середовищах в умовах роботи вібратора.

Застосування вібраторів при ліквідації аварій

На основі вищенаведеного можна зробити певні висновки та припущення. Прихоплення колони труб можна ефективно ліквідувати за допомогою віброзбурювачів, серед яких можна виділити два види:

- осьових віброударних механізмів, які працюють за рахунок розвантаження БК талевою системою і створенні поздовжніх ударів;
- дебалансних вібраторів поперечної дії [2], які базуються на принципі збурювання доцентрових сил при обертанні ексцентрично зміщених мас, забезпечуючи створення пульсуючих осьових зусиль.

Вібрація зменшує сили тертя та опору, що діють на зовнішню поверхню труб бурової колони. Згідно даних Д.Д. Баркана та Н.А. Преображенської [14] статичне зусилля для зриву колони труб при використанні віброзбурювачів може бути зменшене з 200 до 10-15 т, тобто бі-

льше ніж в 15 разів, що підтверджує ефективність пристроїв. Але затування вібрацій по довжині колони визначає обмежену область їх раціонального застосування і вимагає при ліквідації аварій (при достатньо великій області прихоплення) зміни компоновання шляхом включення вібратора (вібраторів) безпосередньо в зону прихоплення.

Суть роботи гідровібратора осьової дії полягає в наступному. При виявленні прихоплення в свердловину опускається вібратор і з'єднується із прихопленою частиною бурильної колони труболовкою. При створенні натягу бурової колони за допомогою талевої системи, в корпусі вібратора проходить зведення механізму в робочий стан, після чого, регулюючи силу натягу бурової колони та її провертання ротором, добиваються резонанс-ефекту в коливному процесі, створеному гідровібратором в бурильній колоні. Час звільнення бурильної колони залежить від сил стримування і довжини зони прихоплення.

При встановленні дебалансного віброзбурювача поперечної дії створюються радіальні переміщення колони труб за рахунок обертання дебалансу в свердловині та циклічної зміни примусового зусилля F_d . Поперечні вібрації колони труб визначають створення змінних тисків в гірничому масиві на контакті з трубами, в результаті проходить утрамбування пластичних та незв'язних порід, а також контактне руйнування міцних та монолітних утворень. В загальному випадку щілина між трубами та гірничими породами збільшується або утворюється знову, що визначає зменшення сил спротиву.

Таблиця 1. Результати експериментального вивчення вібраторів поперечної дії

Вид ґрунту	№ дос-луду	Зусил-ля F , Н	Середнє значення сили F , Н	Час робо-ти вібра-тора, хв	Зусил-ля F_1 , Н	Середнє значення сили F_1 , Н	Кратність зменшення сили F , Н
Суглинок	1	872	799	10	97	81	9,9
	2	704			66		
	3	748			74		
	4	814			79		
	5	859			89		
Супіски	1	398	406	10	55	63	6,4
	2	472			72		
	3	437			69		
	4	383			49		
	5	342			68		
незв'язний щебінь	1	1180	1131	10	190	151	7,5
	2	969			121		
	3	930			124		
	4	1371			169		
	5	1208			153		

Для вивчення впливу вібратора поперечної дії на зменшення сил спротиву при переміщенні обсадних труб в свердловині були проведені експериментальні роботи [16]. Для цього обсадна труба забивалась в ґрунт, після чого визначалось зусилля для її вивільнення F , визначалось, також, зусилля для вивільнення цієї труби F_1 , повторно забитої в ґрунт і підданої вібраційному впливу дебалансного вібратора; в подальшому сили для вивільнення труб порівнювались.

Дані табл. 1 свідчать, що в усіх випадках при використанні вібратора має місце зменшення сил для вивільнення; найбільше зменшення (в 9,9 рази) досягнуто для ґрунту, представленого суглинком; зменшення сили в 6,4 рази отримано для ґрунту, представленого супісками. Ці дані підтверджують суттєве зменшення сил спротиву при вібраційному впливі на труби, показують ефективність застосування дебалансного вібратора при встановленні (вивільненні) обсадних труб та ліквідації прихоплень БК.

Висновки та рекомендації для подальших досліджень

Вивчення існуючих методів ліквідації прихоплень бурильних колон при використанні віброзбурювачів дає можливість зробити наступні висновки:

1. Застосування віброзбурювача типу віброударного механізму осьової дії приводить до створення складного виду позовжніх та поперечних коливань складноперіодичної дії, які зменшують стримуючі сили та фактично виштовхують (занурюють) БК із (в) свердловину, ліквідовуючи аварію.

2. Використання дебалансних вібраторів поперечної дії забезпечує інтенсивний вібраційний вплив на труби поперечних коливань, що можуть створювати короткотерміновий (за даними [18] до 2-х – 3-х секунд) резонанс-ефект, фактично подвоюючи-потроюючи вплив вібрацій на сили стримування в бік зменшення останніх, полегшуючи вивільнення колони труб.

3. Зважаючи, що хвилі, створені вібраційними механізмами досить швидко затухаючі, необхідно віброзбурювач розміщувати безпосередньо в зоні прихоплення для ефективного вивільнення колони труб.

4. Для різних типів ґрунтів, починаючи з деякої величини, частоти коливань і сили тертя можуть почати зростати, а тому важливе значення має вибір частоти, амплітуди та швидкості коливань для конкретних ґрунтів.

Література

1. Баркан Д.Д. Виброметод в строительстве / Д.Д. Баркан. – М.: Госстройиздат, 1959.
2. Блехман И.И. Действие вибраций на механические системы / И.И. Блехман // Вибротехника. – Вильнюс: Минтис, 1973. – №3(20). – С. 369-374.

3. Блехман И.И. Вибрационная механика / И.И. Блехман. – М.: Физматлит, 1994. – 400 с.
4. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти томах / Ред. совет: В.Н. Челомей (ред.). – М.: Машиностроение, 1979. – Т.2. Колебания нелинейных механич. систем / Под ред. И.И. Блехмана. – 1979. – 351 с.
5. Ганиев Р.Ф. Динамика частиц при воздействии вибраций / Р.Ф. Ганиев, Л.Е. Украинский. – К.: Наукова думка, 1975. – 168 с.
6. Исследование виброуплотнения дисперсных систем / Б.А. Лишанский, Б.П. Осмачкин, Н.В. Михайлов, П.А. Ребиндер // Доклады АН СССР. – 1969. – Т.184, №4. – С. 900-903.
7. Горная энциклопедия. Т.3 / Гл. ред. Е.А. Козловский. Ред. кол.: М.И. Агашков, Н.К. Байбаков, А.С. Болдырев и др. – М.: Сов. Энциклопедия, 1987. – 592 с.
8. Ребрик Б.М. Вибротехника в бурении. 2-е изд. перераб. и доп. / Б.М. Ребрик. – М.: Недра, 1966. – 232 с.
9. Баркан Д.Д. Вибрационное и ударно-вращательное бурение [Текст]: учебн. пособие для вузов / Д.Д. Баркан. – М.: Госстройиздат, 1961. – 322 с.
10. Ребрик Б.Н. Вибрационное бурение скважин: учеб. пособие / Б.Н. Ребрик. – М.: Недра, 1974.
11. Васенин В.А. Расчетная оценка параметров колебаний грунта при ударном погружении свай / В.А. Васенин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – СПб., 2001. – №4.
12. Красников Н.Д. Динамические свойства грунтов и методы их определения / Н.Д. Красников. – Л.: Стройиздат, 1970.
13. Ляхов Г.М. Основы динамики взрывных волн в грунтах и горных породах / Г.М. Ляхов. – М.: Недра, 1974.
14. Преображенская Н.А. Экспериментальные данные о погружении и извлечении шпунта и свай вибрированием в песчаных грунтах / Н.А. Преображенская // Динамика грунтов: Сб. НИИОСП. – М.: Госстройиздат, 1958. – №32.
15. Савинов О.А. Вибрационный метод погружения свай и его применение в строительстве / О.А. Савинов, А.Я. Лускин. – Л.: Госстройиздат, 1960.
16. Васюк Б.Н. Усовершенствованная технология установки обсадных колонн в скважине / Б.Н. Васюк, С.В. Гошовский // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – Днепропетровск, 2011. – Вып.14.
17. Цитович Н.А. Механика грунтов / Н.А. Цитович. – М.: Госстройиздат, 1963.
18. Капустин М.И. Изменение коэффициента трения в грунтах под влиянием вибрации / М.И. Капустин // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – СПб., 2015. – № 4.

Стаття надійшла до редакційної колегії 28.05.2015 р.

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором **Мойсишиним В.М.**,
д.т.н., професором **Векериком В.І.***

**THE IMPACT OF VIBRATION ON THE DRILL PIPE
FORCES FREEZING THE LIQUIDATION
OF COMPLICATIONS VIBRATION BREAKER**

V. V. Rys

*Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivs'k, Carpathians str., 15;
ph. +380 (342) 72-71-31; e-mail: math@nung.edu.ua*

The impact vibration was considered in the process of liquidation of freezing drill string and change forces stuck at work disturbing vibration devices. Analysis of changes in soil properties was carried out under the influence of vibration and after them. Numerical data were presented changes in strength and ranges of stuck breaker to reduce vibration forces elm.

Key words: *freezing, drill column, vibratory pile drivers intercepting force, vibration, vibration viscosity change of soil properties.*