

КОЛИВАННЯ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ ПРИ ВРАХУВАННІ ВИПАДКОВИХ ЗБУРЕНЬ, ЯКІ ВИНИКАЮТЬ ПРИ РОБОТІ ДОЛОТА

¹ П.І.Огородніков, ² В.М.Світлицький, ² Б.М.Малярчук, ¹ В.Ю.Худолей, ¹ К.В.Стенура

¹ МНТУ ім. ак. Бугая, 02660, м.Київ, пров. Магнітогорський, 3, тел. (044) 5515839
e-mail: ogorodnikov@mail.ru

² ДК "Укргазвидобування", 01021, м. Київ, вул. Кудрявська, 26/28
e-mail: svetlitsky@gasdob.com.ua

Рассмотрены колебания бурильной колонны с учетом случайных возмущений, возникающих в ходе работы долота. Авторами обоснована замена случайных возмущений суммой гармонических, а замена широкополосного процесса - суммой узкополосных процессов. Предложены выражения для оценки механических напряжений в бурильной колонне. Доказано, что модель бурильной колонны в случае широкополосного бурения, можно рассматривать как ряд осцилляторов с различными характеристиками параллельно подключенных к нагрузке, например, от зубцовых колебаний

The vibrations of drill column taking into account casual disturbance, arising under chisel operation are considered. Replacement of casual disturbance by a sum of harmonic, and replacement of broadband process by the sum of narrowband processes is grounded. The expression for the estimation of mechanical tensions in a drill column is offered. It is proved that a model of the drill column in broadband drilling, might be examined as a row of oscillators with different descriptions parallel connected to loading, for example of tooth vibrations.

Вузькосмугові вібрації бурильної колони виникають при випадкових широкосмугових збуреннях при взаємодії долота з вибоєм. Як приклад на рис.1 наведено ділянку віброграми верху бурильної колони при бурінні турбобуром А9Ш-3 в твердих породах.

Аналіз запасів подвозжніх коливань долота при бурінні в стендових умовах свідчить, що його збурення можна представити як випадковий широкосмуговий стаціонарний процес.

На рис. 2 представлено записи верху бурильної колони в процесі буріння шарошковим долотом і їх статистичні характеристики. Дослідження цих вібрацій в часі показують, що вібрації можна вважати стаціонарними випадковими процесами, оскільки перехідні режими при взаємодії долота з вибоєм мають достатньо малу тривалість відносно коливань бурильної колони значної довжини. На рис. 3 представлено ділянку віброграми, записаної на квадратній штанзі з застосуванням смугових фільтрів.

На рис. 4 наведено віброграми, записані на стенді-буровій при розбурюванні цементного каменю. Штучний вибій знаходився на глибині 230 м. Запис вібрацій долота здійснювався за допомогою віброприймачів на вибої свердловини, які через каротажний кабель були з'єднані з апаратурою на поверхні. Одночасно проводився запис вібрацій верху бурильної колони. Отримані віброграми підтверджують наше припущення, що збурення від долота являє собою широкосмуговий випадковий стаціонарний процес, а коливний процес в бурильній колоні можна вважати сумою вузькосмугових випадкових коливань. Завдання сформульовано так: знаючи параметри статистичного розподілення випадкових навантажень, знайти відповідні параметри для величин, які характеризують вібрації бурильної колони, як складної стрижневої

системи напружень і переміщень при вібрації. В реальних умовах вібрації і навантаження, які діють на бурильну колону, є просторовими. Такі вібрації можна розмістити по координатних осях і розглядати їх як випадкову функцію лише одного аргумента – часу. Таким чином, досліджується випадковий процес – випадкові функції часу. При цьому для даного випадку повинно бути визначено просторову кореляцію між вібраціями окремих частинах бурильної колони.

Аналіз вібрацій бурильної колони на основі теорії випадкових коливань дасть змогу підвищити достовірність визначення вібраційної надійності елементів бурильної колони. Для аналізу випадкових вібрацій бурильної колони використаємо спектральний метод опису стаціонарних випадкових процесів [1, 2], а також методіку дослідження подібних систем, наприклад [3, 4].

Вузькосмугові вібрації верху бурильної колони збурюються за рахунок випадкових широкосмугових збурювань від взаємодії долота з вибоєм. Середнє значення частоти вузькосмугової вібрації можна визначити за формулою Райса:

$$\omega_0^2 = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} \omega^2 \phi_{yy}(\omega) d\omega}{\int_{-\infty}^{\infty} \phi_{yy}(\omega) d\omega}, \quad (1)$$

де: ω_0 – математичне сподівання частоти; ω – переважна частота процесу; $\phi_{yy}(\omega)$ – спектральна щільність стаціонарного випадкового процесу (залежить від частоти ω).

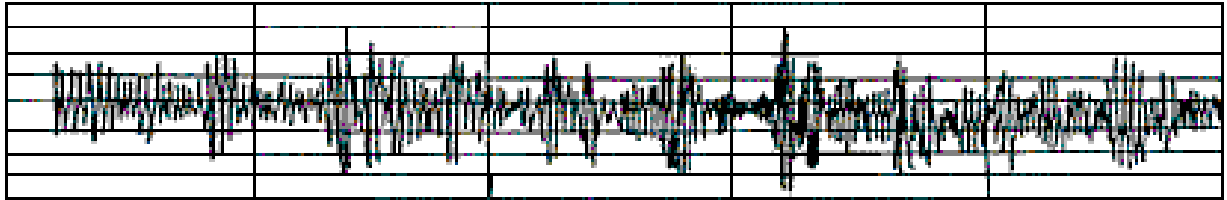
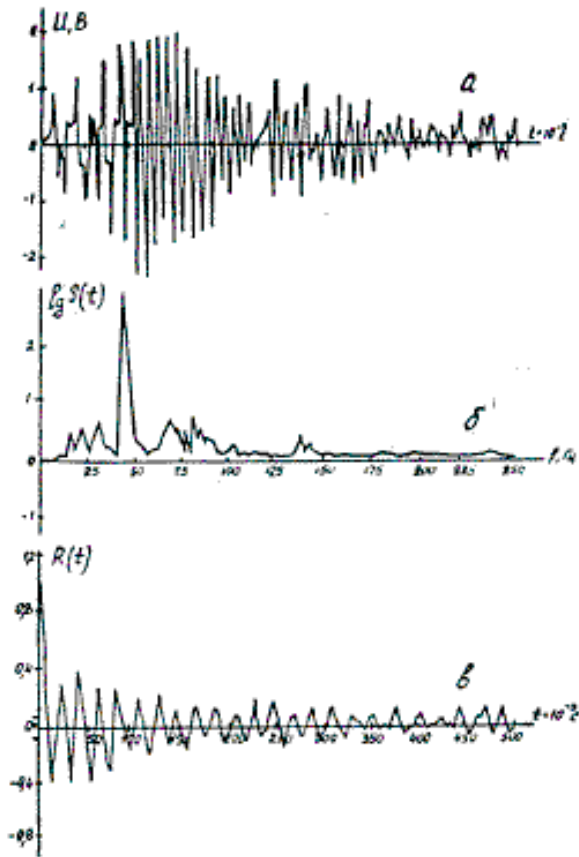


Рисунок 1 – Відрізок віброграми верху бурильної колони при бурінні турбобуром $P_{oc}=200$ кН, вибій 1200 м, ОБТ 45 м, \varnothing 203 мм



a – реалізація;
b – нормована спектральна щільність;
c – нормована автокореляційна функція

Рисунок 2 — Результати статистичної обробки запису вібрацій верху бурильної колони

Добуток $\phi_{yy}(\omega)d\omega$ відповідає тій частці потужності, яка містить в інтервалі частот від ω до $\omega + d\omega$. Типові приклади спектральних щільностей наведено в роботах [1, 2].

В амплітудно-частотній характеристиці верху бурильної колони наявні низка резонансних піків (рис. 5), збуджуючі коливання являють собою процес білого шуму і математичне сподівання частоти ω_0 співпадає з власною частотою коливань бурильної колони по основному тону. За математичним сподіванням частоти ω_0 можна визначити огинаючу вузькосмугового процесу вібрації бурильної колони (рис. 6). Вузькосмуговий випадковий процес має вигляд биття. Зі зменшенням ширини смуги спектру період биття збільшується, внаслідок чого для

визначення статистичних характеристик потрібно реалізації великої протяжності. Зміна ширини смуги спектру обумовлена зміною осьового навантаження при турбінному способі буріння. Аналіз записів вібрацій верху бурильної колони при різних умовах буріння, свідчить, що реакція останньої на декілька вузькосмугових процесів еквівалентна реакції на полігармонічні збурення. Це дає можливість у першому наближенні розглядати збурення колони як дію гармонійних сил взаємодії долота з вибоєм. Широкопasmові випадкові збурення від долота можна визначити як сумарну дію декількох вузькосмугових випадкових вібрацій. Тоді середньоквадратичне значення переміщень бурильної колони при вібрації можна визначити за формулою

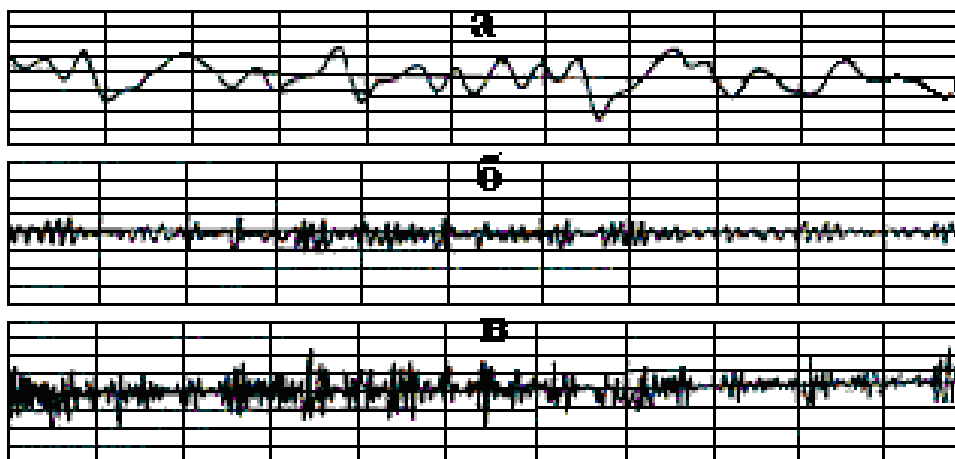
$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N \eta^2 f_i \phi(f_i) \Delta f_i} \quad (2)$$

або

$$\sigma = \left[\int_{f_1}^{f_2} \eta^2 \phi(f) df \right]^{1/2}, \quad (3)$$

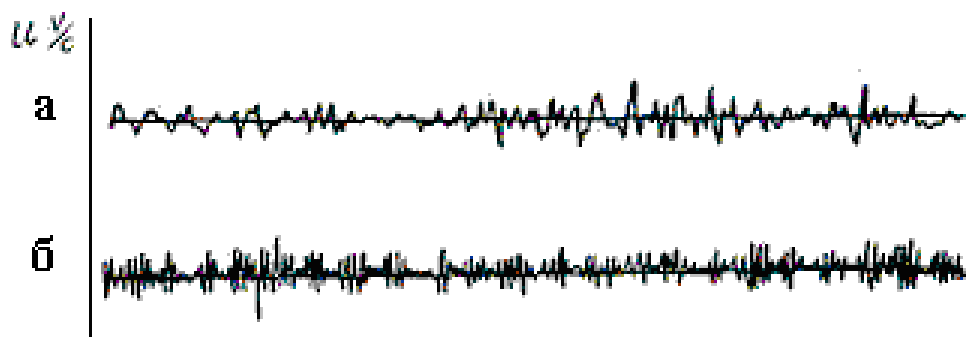
де: η – коефіцієнт динамічності; $\phi(f)$ – спектральна щільність збурення в смузі частот f_1 і f_2 ; Δf_i – інтервал розбиття смуги частот f_1 і f_2 ; N – число інтервалів розділення смуги частот.

При дії збурень від долота, які ми приймаємо як вузькосмуговий випадковий процес, в бурильній колоні збуджуються одночасно коливання на всіх власних частотах. Це видно зі спектрограм, записаних при бурінні з постійними режимними параметрами в однорідних породах долотами із вставними зубцями. В процесі зношування опор кочення і озброєння частотний спектр змінюється і параметри вібрацій також змінюються. Картину збурення вібрацій в бурильній колоні можна представити як дію випадкового процесу, одночасно на ряд осциляторів з різними частотними характеристиками (рис. 6). Якщо розглядати бурильну колону як стрижневу систему, на яку діє широкопasmова випадкова вібрація, то вібраційна стійкість колони буде залежати від рівня спектральної густини, ширини смуги збуджуючих частот, загального числа резонансних коливань, які виникають одночасно, і числа елементів конструкції, чутливих елементів.



а – 0-30 Гц; б – 30-70 Гц; в – 70-В.К.

Рисунок 3 — Ділянка віброграми верху бурильної колони, записана з використанням смугових фільтрів



а – вібрації долота; б – вібрації верху колони

Рисунок 4 — Ділянка віброграми запасу коливання долота і верху бурильної колони при розбурюванні цементного каменю; частота обертання ротора 6,3 с, осьове навантаження $P_{oc}=30$ кН, ОБТ - 4 м \varnothing 103 мм, бурильні труби \varnothing 70, вибій 230 м, долото В140Т, промивка 14 л/с

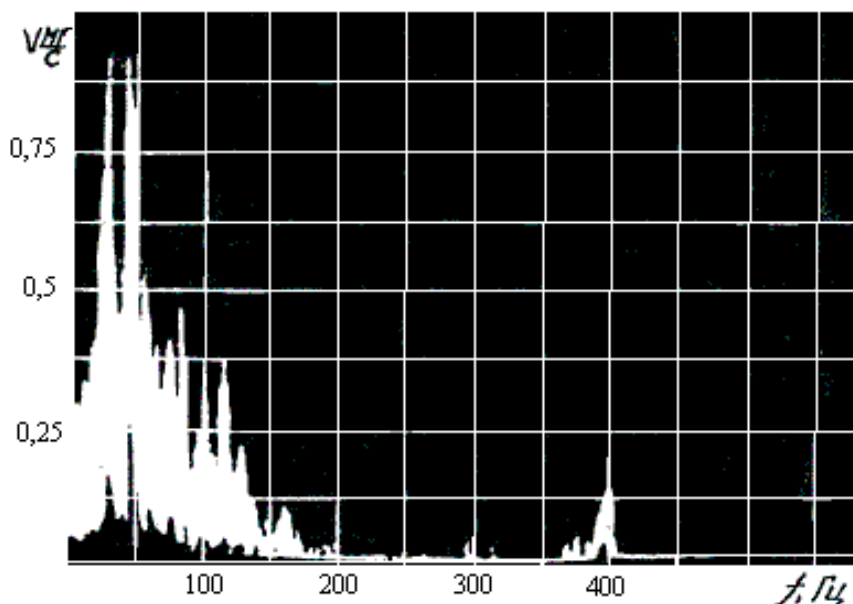


Рисунок 5 — Амплітудно-частотна характеристика коливань верху бурильної колони (записувалась віброшвидкість)

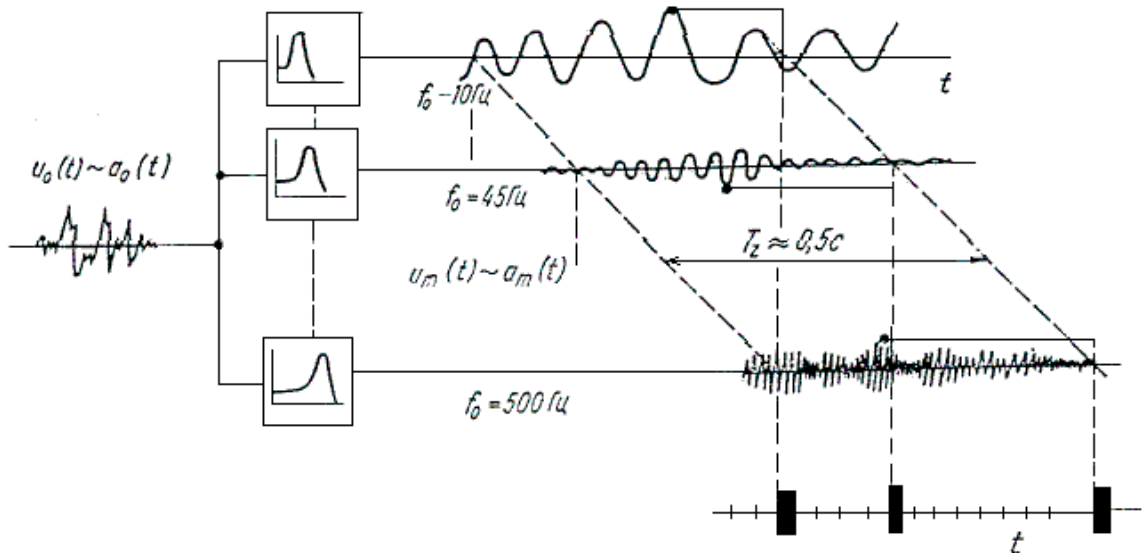


Рисунок 6 — Аналіз експлуатаційних навантажень колони від роботи долота (результати представлені в часовій області)

Необхідно зазначити, що різниця дії широко-смугової вібрації від еквівалентної гармонічної впливає на віброміцність елементів бурильної колони в тому випадку, якщо результуючі механічні напруження в її елементах колони перевищує границю плинності або міцності і кожен критерій несправності досягає критичного значення в діапазоні частот збурення. Якщо основні коливання бурильної колони проходять на одній частоті (наприклад, частоті, яка диктується хвилеподібним вибоєм) і є однією з її головних форм коливань, спектральну щільність реакції колони на випадковий процес збурення [1] можна визначити як

$$\phi_{yy}(\omega, Z) = [H(\omega, Z)]^2 \phi_{QQ}(\omega), \quad (4)$$

де $\phi_{QQ}(\omega)$ – спектральна щільність динамічного навантаження від вибою, яку можна отримати із записів вібрацій в стендових умовах.

Середньоквадратичне значення реакції бурильної колони на випадкові коливання пов'язано із спектральною щільністю співвідношенням

$$\bar{y}^2 = \int_0^{\infty} |H(\omega)|^2 \phi_{QQ}(\omega) d\omega. \quad (5)$$

Підставляючи (4) в (5), отримаємо

$$\bar{y}^2 = \int_0^{\infty} \frac{\phi_{QQ}(\omega) d\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 2(\beta\omega\omega_0)}. \quad (6)$$

При інтегруванні враховуються тільки фізично реальні частоти.

Бурильна колона являє собою систему з розподіленими параметрами, навантажену випадковим навантаженням від долота. Тому спектральну щільність з врахуванням подовжньої координати Z можна визначити як

$$\phi_{yy}(\omega, Z) = [H(\omega, Z)]^2 \phi_{QQ}(\omega), \quad (7)$$

де $H(\omega, Z)$ – передавальна функція бурильної колони.

Передавальна функція може визначитися як амплітудно-частотна характеристика при гармонійних збурюваннях вібрації з врахуванням розсіювання енергії і реального розподілу сил на кожній фіксованій частоті у вибраному діапазоні частот. $H(\omega, Z)$ необхідно шукати у вигляді розкладів по власних функціях консервативної системи – бурильної колони без демпфування

$$H(\omega, Z) = H_1(\omega)H_2(Z) = \sum_{k=1}^N C_k(\omega)y_k(Z), \quad (8)$$

де: $C_k(\omega)$ – коефіцієнт розкладу; $y_k(Z)$ – власні функції – форми коливань колони; $k = 1, 2, 3, \dots, N$.

Вираз (8) дає підстави розглядати реакції колони на кожній із його власних форм коливань. Вираз для переміщень перетинів колони можна записати для k -го члена ряду (8)

$$y_k(Z, t) = y_k(Z)C_k(\omega). \quad (9)$$

Наприклад, якщо колона бурильних труб коливається по частоті ω , продеференціюємо (9) два рази за часом і отримаємо вираз для прискорення

$$\ddot{y}_k(Z, t) = -\omega^2 C_k(\omega)y_k(Z). \quad (10)$$

Тоді механічна напруга в бурильній колоні при випадкових коливаннях буде:

$$\sigma_k = \frac{ED}{2} C_k(\omega) \frac{\partial^2 y_k(Z)}{\partial Z^2}. \quad (11)$$

Сумарна напруга в бурильній колоні при випадкових коливаннях дорівнюватиме

$$\bar{\sigma}^2(Z)_k = \frac{ED}{2} C_k(\omega) \frac{\partial^2 y_k(Z)}{\partial Z^2}. \quad (12)$$

Таким чином, в даній роботі обґрунтовано заміну випадкових коливань сумою гармонічних процесів, а заміну широкосмугового процесу – вузькосмугових. Запропоновано вирази для оцінки механічних напружень в перетинах

бурильної колони. Показано, що модель бурильної колони у випадку ширококутового збурення можна розглядати як ряд осциляторів з різними характеристиками, паралельно підключених до навантаження, наприклад, від зубкових коливань. Ці положення можна поширити на крутні коливання, а при більш детальному аналізі розгляд цих питань (на основі отриманих записів поперечних коливань) дає можливість уточнити динамічні схеми бурильної колони.

- 1 Болотин В.В. Статистические методы в строительной механике. – М.: Госстройиздат. 1961. – 365 с.
- 2 Болотин В.В. Применение методов теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.
- 3 Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. – М.: Мир, 1974. – 255 с.

УДК 658.562

АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РІЗЬБОВОЇ ЧАСТИНИ НАСОСНО-КОМПРЕСОРНИХ ТРУБ

М.А.Кононенко, С.С.Семенюк, Н.Я.Габльовська, Т.І.Луцишин

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42141, 41166,

e-mail: public@nuing.edu.ua

Київський національний університет технологій та дизайну,

м. Київ, вул. Немировича-Данченка, 2, тел. (044) 280056.

Проведен анализ результатов экспертного и расчетного метода оценивания качественных показателей насосно-компрессорных труб и за значениями коэффициентов весомости установлена приоритетность геометрических параметров резьбы как наиболее изнашивающегося узла/

The analysis of expert and calculation method results of pump-compressor pipes high-quality indexes evaluation is done and after the coefficients values the ponderability priority of geometrical parameters of, as a knot that wears out quick all, are set

У сучасному нафтовидобуванні простежується тенденція до збільшення об'ємів робіт, пов'язаних із вторинними методами дії на пласт, інтенсифікації видобутку нафти, підземним і капітальним ремонтом свердловин. При цьому змінюються режими експлуатації свердловинного обладнання, в тому числі і трубних колон. Значно зросли обсяги робіт, пов'язаних із проведенням спуско-підймальних операцій. За таких умов дуже гостро постає питання забезпечення надійності найбільш "аварійного" вузла свердловинного обладнання – насосно-компресорних труб (НКТ). Так, відомо, що кількість аварій з насосно-компресорними трубами при освоєнні окремих родовищ сягає 80% від загальної кількості аварій свердловинного обладнання. Це спричиняє втрату обладнання високої вартості, аж до переведення свердловин у фонд ліквідованих за технічними причинами. Основні відомі шляхи зниження аварійності — контроль якості виготовлення трубної продукції на підприємствах-виробниках на відповідність вимогам нормативно-технічної документації; дотримання правил транспортування, складування і зберігання; відповідність обраної трубної продукції конкретним умовам експлуатації та інше.

Без дотримання першої складової перелічених заходів наступні втрачають сенс [1].

Отже, забезпечення експлуатаційної надійності НКТ слід починати з визначення найбільш вагомих показників якості та методів їх контролю безпосередньо після випуску труб з виробництва чи ремонту.

Для отримання комплексної оцінки якості на даний час використовують дві групи методів: експертні і розрахункові.

Вихідною інформацією для експертної оцінки якості труб НКТ може бути тільки виробнича статистика, виходячи з якої спеціально відібрані експерти (за умови їх високої компетентності) даватимуть реальну оцінку надійності трубної продукції й рангувати показники, що визначають її якість.

Експертним методам оцінювання якості труб НКТ присвячено низку робіт [2, 3, 4], автори яких піддають детальному аналізу функції, які виконує колона НКТ, види навантажень, що діють на колону, та вимоги вітчизняної та закордонної нормативної документації на насосно-компресорні труби.

Колона НКТ виконує такі основні функції: забезпечує подачу з пластів нафти та газу, що видобувають;

забезпечує закачування технологічних агентів для гідророзриву, глушіння свердловини та інтенсифікації видобутку;