

УДК 622.23.05

М.П. Калюш, Є.В. Галба, О.В. Максютенко - студенти, науковий керівник доц. В.М.Сліденко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, м. Київ, Україна

## РЕЗОНАНСНИЙ КОМПЛЕКС ІМПУЛЬСНОЇ ДІЇ НА НАФТОВУ СВЕРДЛОВИНУ

**Анотація.** Запропоновано резонансний комплекс імпульсної дії на нафтову свердловину з параметрами, що забезпечують резонансний режим коливань тиску в рідині. Це викликає збільшення проникливості колектора і сприяє підвищенню продуктивності нафтової свердловини.

**Аннотация.** Предложено резонансный комплекс импульсного действия на нефтяную скважину с параметрами, обеспечивающими резонансный режим колебаний давления в жидкости. Это вызывает увеличение проницаемости коллектора и способствует повышению производительности нефтяной скважины.

**Abstract.** The resonance complex of the impulsive operating is offered on an oil-well with parameters, providing the resonance mode of pressure fluctuations in a liquid. It causes the increase of permeability of collector and instrumental in the increase of the productivity of oil-wells.

**Вступ.** На сьогоднішній день в світі підвищення рівня видобування запасів сировини є одним з основних завдань видобувних компаній. Відомі методи видобутку дозволяють вилучити з надр від 25 до 50% вуглеводневої сировини. Таким чином, понад 50% вуглеводнів залишаються в землі. Науковою проблемою є пошук нових методів та способів збільшення нафтовіддачі пластів.

Існуючі методи відновлення та підвищення фільтраційно-ємнісних характеристик продуктивних пластів у привибійній зоні свердловин (ПЗС) такі як: гідророзрив пласта, дія на продуктивні пласти хімічними реагентами, вибухові технології, поряд з високою ефективністю, мають цілий ряд суттєвих недоліків.

**Мета роботи.** Обґрунтування структури та частотних параметрів генератора коливань резонансної дії на привибійну зону свердловини в межах його домінантних частот для підвищення дебіту нафтової свердловини [2].

**Матеріал і результати дослідження.** В НТУУ "КПІ" в межах міжнародного договору з ЗАТ "Ренфорс" (Росія) розроблений комплекс обладнання "Імпульс" для підвищення дебіту нафтових свердловин до складу якого входить генератор коливань резонансної дії. Конструкція генератора захищена патентами України і Росії [4].

Генератор містить вихровий модуль 1, резонатор 2 та хвилевід 3 (рис.1). Хвилевід 3 складається з пакета насосно-компресорних труб (НКТ) і його довжина залежить від кількості НКТ в пакеті і, отже, може регулюватись. Вихровий модуль 1 містить розташовані в трубчатому корпусі вихрову камеру та клапанний блок. Резонатор 2 містить корпус з радіальними отворами і розташований в ньому підпружинений золотник обтікаючої форми.

При проведенні комплексом "Імпульс" відновлювальних робіт на свердловині генератор на насосно-компресорних трубах (НКТ) опускається до рівня перфораційних отворів в обсадній колоні свердловини. Через генератор з поверхні, за допомогою насосного агрегата, прокачується робоча рідина. В якості робочої рідини застосовуються різноманітні

хімреагентні розчини на водній чи нафтовій основі, які активно діють на колектор привибійної зони свердловини. Робоча рідина через радіальні отвори резонатора і перфораційні отвори в обсадній колоні репресивно діє на нафтовий колектор в привибійній зоні, знеміцнює та очищує його від кольматантів і покращує гідравлічний зв'язок колектора з свердловиною.

Механізм репресивної дії робочої рідини на нафтовий колектор пов'язаний із взаємодією вихрового модуля, хвилевода і резонатора при роботі генератора.

В процесі роботи генератора, потік робочої рідини у вихровому модулі розпадається на два потоки: один з яких потрапляє у вихрову камеру через тангенціальні отвори і розкручується в ній, досягаючи швидкості до 130 м/с, а інший, через клапанний блок, всмоктується в камеру інжекції і далі надходить у вихрову камеру. При зустрічі вихрового і інжекційного потоків вихор розпадається, швидкість рідини падає до 35 м/с і, відповідно, тиск у вихровій камері збільшується, рідина виштовхується через вихідні отвори у хвилевід. Кількість рідини у вихровій камері зменшується, що призводить до нового вихроутворення і далі цикл повторюється з частотою  $f_2$ , яка залежить від геометричних, кінематичних та динамічних параметрів вихрового модулю і за розрахунками складає 42-53 Гц.

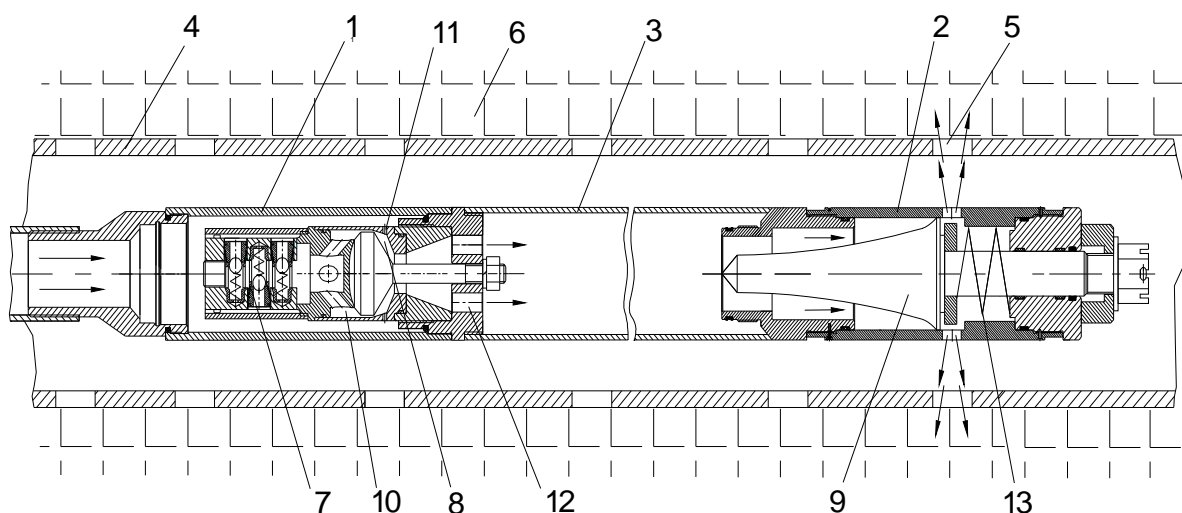


Рисунок 1 – Генератор коливань резонансної дії на привибійну зону нафтової свердловини:  
 1 – вихровий модуль, 2 – резонатор, 3 – хвилевід, 4 – обсадна колона,  
 5 – перфораційні отвори, 6 – привибійна зона, 7 – клапанний блок,  
 8 – вихрова камера, 9 – підпружинений золотник, 10 – камера інжекції,  
 11 – тангенціальні отвори, 12 – вихідні отвори, 13 – пружні елементи

Лінійна частота власних коливань підпружиненого золотника резонатора визначається:

$$f_p = \frac{\omega}{2 \cdot \pi},$$

де  $\omega$  – кругова частота власних коливань підпружиненого золотника

$$\omega = \sqrt{\frac{c_3}{m_3}},$$

$c_3$  – жорсткість пакету пружних елементів,  $m_3$  – зведена маса, яка приймає участь в коливальному процесі.

Жорсткість пакету пружних елементів визначається як зведена жорсткість  $c_3$  за формулою для послідовно розташованих елементів:

$$\frac{1}{c_3} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i},$$

де  $c_i$  – жорсткість одного пружного елемента.

Тоді

$$c_3 = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{c_i}}.$$

Зведена маса, яка приймає участь в коливальному процесі, визначається геометричними параметрами підпружиненого золотника та видовженої камери хвилевода (пакетом НКТ між генератором та резонатором), а також властивостями робочої рідини в хвилеводі:

$$m_3 = m_{зол} + m_p,$$

де  $m_{зол}$  – маса золотника,  $m_p$  – маса робочої рідини в хвилеводі.

Маса робочої рідини в хвилеводі визначається:

$$m_p = \rho \cdot \pi \cdot \frac{d_{хв}^2}{4} \cdot l_{хв},$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $d_{хв}$ ,  $l_{хв}$  – відповідно внутрішній діаметр та довжина хвилевода.

Діапазон власних частот резонатора  $f_p$  регулюється довжиною хвилевода та вибором пружних елементів і знаходиться за розрахунками в межах 23-54 Гц, що практично охоплює діапазон частот вимушених коливань тиску  $f_2$ , які генеруються вихровим модулем.

Репресивний тиск в резонаторі досягається шляхом перекриття щілин на виході підпружиненим золотником резонатора. Розрахункова схема резонатора показана на рис.2.

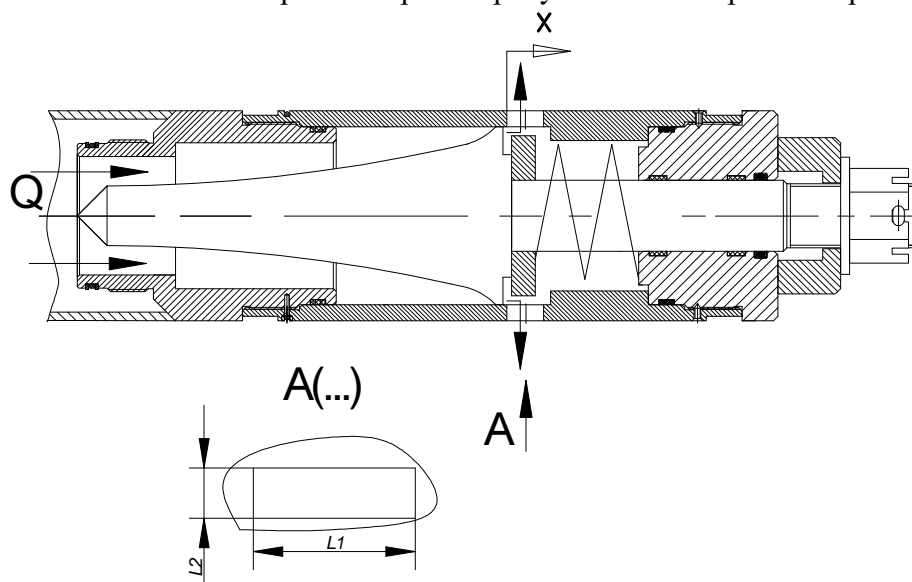


Рисунок 2 – Моделювання підпружиненого резонатора

На вході в резонатор поступає пульсуючий потік від генератора з раціональною витратою  $Q=600$  л/хв ( $0,01$  м<sup>3</sup>/с). Підняття тиску в резонаторі здійснюється дроселюванням рідини при її проходженні через чотири бокових щілини в резонаторі, які поступово відкриваються при русі золотника резонатора в напрямку  $x$  (рис.2).

Тоді приймаючи для розрахунку параметри (наприклад,  $\mu = 0,64$  - коефіцієнт витрат,  $\rho=1000$  кг/м<sup>3</sup> - густина рідини), отримаємо значення перевищення тиску дроселювання над гідростатичним тиском:

$$\Delta p = \frac{Q^2}{\mu^2 \cdot S_x^2} \cdot \frac{\rho}{2}$$

де  $S_x$  - сумарна площа чотирьох щілин резонатора, поточне значення якої залежить від положення золотника резонатора і характеризується координатою  $x$ .

Поточне значення площі  $S_x = 4 \cdot L_2 \cdot L_1$ , при заданому постійному значенні  $L_2$  і вектору змінних значень  $L_1$ .

При цьому зміна тиску на виході резонатора буде характеризуватись залежністю  $\Delta p = f(L_1)$ . Розрахунками встановлено, що раціональний приріст тиску від роботи генератора імпульсних репресивних коливань складає 3 МПа. При цьому можливі частоти коливань складають 23...54 Гц.

За допомогою комп'ютерного моделювання з використанням інструменту Flow Simulation оболонки SolidWorks побудована тривимірна модель вихрового генератора та досліджена гідродинаміка вихрового генератора, а саме змодельовано процес закрутки вихрового потоку в камері завихрення та потік робочої рідини через клапанний блок. В результаті моделювання встановлено розподіл тиску та швидкості потоку по всій довжині генератора.

Процес дроселювання робочої рідини через клапанний блок показаний на рис.3.

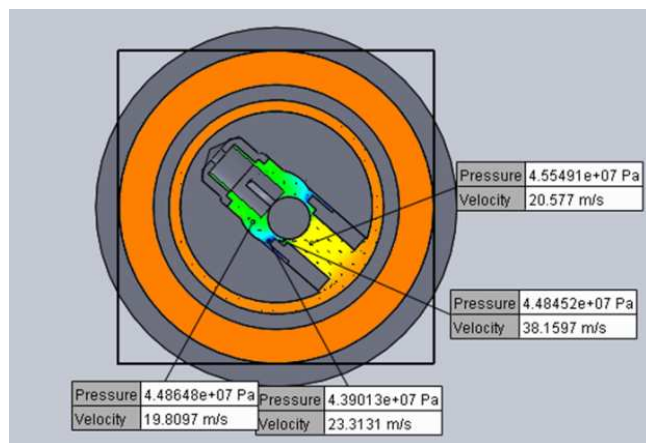


Рисунок 3 – Моделювання клапанного блоку:

Також за допомогою оболонки SolidWorks досліджено гідродинамічні процеси, які відбуваються у вихровій камері. Принципова 3D - модель вихрової камери зображена на рис.4.

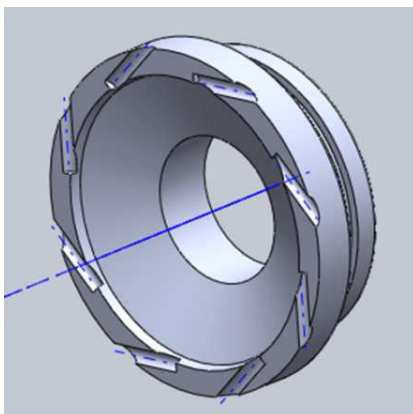


Рисунок 4 – Моделювання вихрової камери

Дроселювання потоку відбувається через вісім радіальних отворів діаметром 3мм кожний, що розташовані по контуру завихрювача.

Витрата через отвір [3]:

$$Q = \varepsilon \cdot \varphi \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

де  $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$  – коефіцієнт витрат.

Коефіцієнти  $\mu, \varepsilon, \varphi$  залежать від числа Рейнольдса. При великому числі Рейнольдса  $Re > 10^4$  ці коефіцієнти практично постійні, і їх середні значення дорівнюють  $\varepsilon = 0,64$ ,  $\varphi = 0,97$ ,  $\mu = 0,62$ . Зазвичай коефіцієнт  $\mu$  визначається дослідним шляхом.

#### **Висновки.**

Продуктивний пласт нафтової свердловини є нестійкою термодинамічною системою і тому проявляє властивості автоколивальної нелінійної системи із зосередженими параметрами та має ряд власних частот. При використанні запропонованого резонансного комплексу імпульсної дії на нафтову свердловину, пластові структури локально можуть входити в резонанс на домінуючих частотах.

Запропонована конструкція з раціональними частотними параметрами, внаслідок взаємодії вихрового модуля, хвилевода і резонатора, забезпечує резонансний режим коливань тиску в рідині, викликає збільшення амплітуди коливань тиску і, відповідно, підсилює репресивну дію рідини на колектор привибійної зони, знеміцнюючи його. Це призводить до збільшення проникливості колектора і сприяє стабілізації гідродинамічного зв'язку нафтового пласта з свердловиною з очищенням старих і створенням нових фільтраційних каналів за рахунок утворених імпульсами мікротріщин, що сприяє підвищенню продуктивності нафтової свердловини.

#### **Перелік посилань:**

1. Алямовский А. А. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] \ А. А. Алямовский, А. А Собачкин, Е.В. Одинцов – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.- 800 с.: ил.
2. Дыбленко В.П. Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия [Текст] \ В.П. Дыбленко, Р.Н. Камалов, Р.Я. Шариффулин, И.А. Туфанов – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2000. — 381 с: ил.
3. Коваль П. В. Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для вузов по специальности «Горные машины и комплексы». — М.: Машиностроение, 1979. — 319 с, ил.
4. Стабілізація функціонування гірничої машини з імпульсним виконавчим органом: монографія/ В.М. Сліденко, С.П. Шевчук. - К.: НТУУ "КПІ", 2010. - 192 с.