

## РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШТАНГОВИХ НАСОСНО-ЕЖЕКТОРНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ НАФТОВИХ СВЕРДЛОВИН

**О.Я. Дубей**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15,  
м. Івано-Франківськ, Україна 76019  
e-mail: [olgadubej@gmail.com](mailto:olgadubej@gmail.com)*

Для подолання ряду ускладнень, які можуть траплятися при експлуатації нафтових свердловин установками штангових насосів (погіршення роботи насоса аж до зриву його подачі та зупинки видобування, зниження динамічного рівня у свердловині) було запропоновано додатково встановити рідинногазовий ежектор над динамічним рівнем свердловини. У такому випадку робочий потік в ежекторі (свердловинний флюїд) захоплюватиме нафтовий газ із затрубного простору. Це дозволить отримати такі позитивні результати: корисно використати потенціальну енергію затрубного нафтового газу свердловини, стабілізувати роботу штангового насоса, уникнути коливання динамічного рівня у свердловині, полегшити підйом свердловинної продукції на поверхню за рахунок зменшення густини змішаного потоку після ежектора, зменшити навантаження на колону штанг та споживання електроенергії.

Запропоновану тандемну установку було вирішено впровадити у нафтовій свердловині 753-Д НГВУ «Долина нафтогаз», для якої були відомі її основні робочі та геометричні параметри.

Використовуючи задані параметри свердловини, відомі методи Поетманна-Карпентера і Баксендела, а також числовий метод Адамса-Крилова для розв'язання їх диференціальних рівнянь, знайдено розподіл тиску і температури між вибоєм і точкою підвісу насоса, точкою підвісу насоса і устям свердловини. Разом з тим отримано числові значення густини газоводонафтової суміші та вільного нафтового газу, його витратного газомісту, середньоінтегральної швидкості руху газорідинної суміші для різних перерізів свердловини між точкою підвісу насоса та її устям. Всі обчислення були здійснені за допомогою розроблених мною комп'ютерних програм [1].

В основу визначення доцільності використання ежектора у свердловині вище їх динамічного рівня було покладено такі дві умови:

- весь газ, який надходить у затрубний простір свердловини протягом доби, повинен проходити через ежектор. Це забезпечуватиме стабільність динамічного рівня свердловини;
- місце встановлення ежектора у свердловині та його геометричні параметри повинні бути такими, щоб забезпечити якнайбільше зменшення навантаження на колону штанг.

З метою дотримання першої умови знайдено витрату затрубного газу через ежектор за його термобаричних умов ( $p_{зам} = 1,83$  МПа,  $T_{зам} = 297$  К (середня температура))  $Q_{з3} = 0,913 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/с, а також його густину  $\rho_{зам} = 14,86$  кг/м<sup>3</sup>. Щоб забезпечити відбір газу із затрубного простору, витрата якого рівна  $Q_{з3}$ , необхідно забезпечити певний тиск у приймальній камері ежектора. Цей тиск знайдено із розв'язку такого рівняння:

$$Q_{з3}^2 = \varphi_c^2 f_{in}^2 \left( \frac{p_{p1}}{p_{зам}} \right)^{\frac{2}{k}} \frac{2k}{k-1} \frac{p_{зам}}{\rho_{зам}} \left[ 1 - \left( \frac{p_{p1}}{p_{зам}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \quad (1)$$

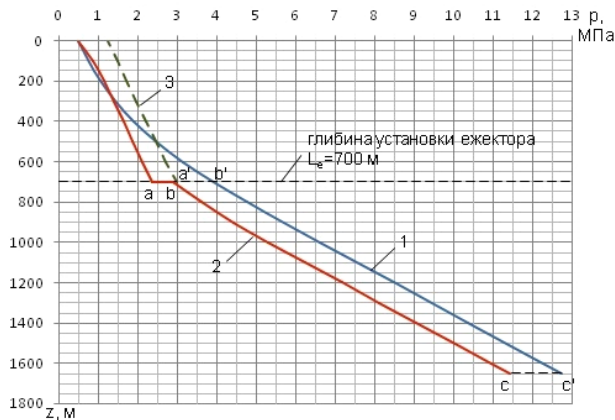
де  $\varphi_c$  – коефіцієнт тертя в отворі між затрубним простором свердловини і приймальною камерою ежектора ( $\varphi_c = 0,955$ );  $f_{in}$  – площа поперечного перерізу отвору зворотного клапана (було прийнято  $d_{in} = 4$  мм і  $f_{in} = 0,1257 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>);  $k$  – коефіцієнт адіабати ( $k = 1,33$ ). В результаті отримано  $p_{p1} = 1,786 \cdot 10^6$  Па.

Для дотримання другої умови вибрано інтервал глибин можливого розташування ежектора у свердловині ( $h = (610 \dots 890)$  м) при динамічному рівні свердловини 753-Д  $h_0 = 12433$  м. При уявній установці ежекторів у свердловині в перерізах цього інтервалу і прийнятті параметрів робочого потоку ежектора рівними відповідним параметрам свердловини у цих перерізах, визначено параметри на виході ежекторів, використовуючи їх рівняння [2], а далі застосовано метод Баксендела для визначення розподілу тиску та температури від ежектора до устя свердловини.

Встановлено при такому дослідженні, що тиск на усті свердловини буде тим більшим, чим меншим є відношення  $f_3/f_{p1}$  і чим глибше встановлено ежектор у свердловині. Вплив другого фактора на зміну тиску на усті свердловини є незначним у порівнянні з впливом величини

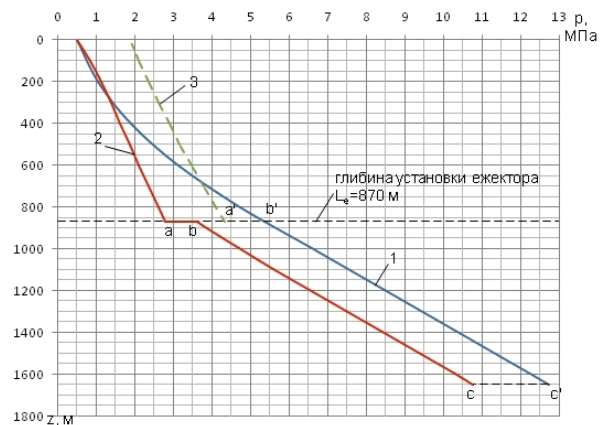
відношення  $f_3/f_{p1}$ . Якщо тиск при цьому дослідженні ежекторів на усті свердловини є більшим за заданий устевий тиск  $p_e$  свердловини, то це означає, що при реальному встановленні такого ежектора у свердловині у тому ж перерізі, тиск на його вході буде нижчий за тиск у цьому ж перерізі без ежектора. А це у свою чергу вказує на те, що у цьому випадку тиск на виході штангового насоса буде менший ніж тиск у випадку відсутності ежектора.

У зв'язку з цим було вибрано чотири високонапірні ежектори з малим відношенням  $f_3/f_{p1}$  ( $f_3/f_{p1} = 3$ ). При реальному встановленні цих ежекторів у свердловині на глибинах вибраного діапазону та її устевому тиску  $p_e = 0,5$  МПа отримано зменшення тиску у перерізах свердловини на вході в ежектори у порівнянні з тиском у цих же перерізах за відсутності ежекторів. Зокрема, для ежекторів, встановлених відповідно на глибинах  $L_e = 700$  і  $870$  м вказане зменшення складало  $\Delta p_{(700)} = 1,03$  МПа (рис. 1) і  $\Delta p_{(870)} = 1,75$  МПа (рис. 2) (на рисунках ці зменшення тиску зображені відрізками  $b'b$ ).



**1 – без ежектора; 2 – з ежектором ( $f_3/f_{p1} = 3$ ) і тиском на усті  $p_e = 0,5$  МПа;  
3 – з ежектором при  $p_p = 3,9079$  МПа**

**Рисунок 1 – Розподіл тиску в свердловині між штанговим насосом та устям**



**1 – без ежектора; 2 – з ежектором ( $f_3/f_{p1} = 3$ );  
3 – з ежектором при  $p_p = 5,38$  МПа**

**Рисунок 2 – Розподіл тиску в свердловині між штанговим насосом та устям**

Використовуючи метод Баксендела для цих двох ежекторів між перерізами їх встановлення та виходом штангового насоса, отримано зменшення тиску на виході СШН на  $1,32$  МПа у випадку розташування ежектора на глибині  $700$  м і  $1,96$  МПа – на глибині  $870$  м (на рис. 1 і рис. 2 ці зменшення зображені відрізками  $c'c$ ).

Таким чином, найбільш раціонально в свердловині 753-Д встановити високонапірний ежектор з  $f_3/f_{p1} = 3$  (високонапірний) на глибині  $870$  м. Геометричні параметри цього ежектора, знайдені у процесі дослідження, такі: діаметр вихідного отвору сопла  $d_c = 3,88$  мм, камери змішування  $d_{кз} = 6,72$  мм, вихідного отвору дифузора  $d_d = 18,01$  мм і кут конуса дифузора  $\alpha = 8^\circ$ .

Таким чином для запропонованої свердловини 753-Д НГВУ «Долинонафтогаз» було розраховано оптимальний режим її експлуатації тандемною установкою штанговий насос – нафтогазовий ежектор, який забезпечуватиме покращення роботи свердловинного обладнання та зменшення капіталовкладень у видобування нафти.

### Література

1. Дубей О.Я. Підвищення ефективності установок свердловинних штангових насосів шляхом застосування нафтогазових ежекторів. Спец. 05.05.12 – Машини нафтової та газової промисловості: Дис... на здоб. н. с. к. т. н. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. – 218 с.
2. Дубей О.Я. Рівняння високонапірного нафтогазового ежектора / О.Я. Дубей // Збірник монографій «Научные ответы на вызовы современности – 2016». Том 2. – Одесса. – С. 114-129.