УДК 622.24

ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕРІАЛО- ТА ГАБАРИТОМІСТКОСТІ ПРЕВЕНТОРІВ ДЛЯ ПІДЗЕМНОГО РЕМОНТУ СВЕРДЛОВИН

М.Я.Бучинський

ЗАТ "Пласт", 36008, м. Полтава, вул. Комарова, 11, тел.(0532) 610311,
e-mail: slpling@kot.poltava.ua

Рассмотрено конструктивные особенности и технические характеристики превенторов для подземного ремонта скважин. Получено графические и аналитические зависимости для определения значений единичных показателей технического уровня современных моделей. Создано информационный массив для оценки технического уровня моделей.

Is reviewed design features and characteristics of preventers for underground repair of wells. Is obtained graphic and analytical relations for definition of values of single parameters of a technological level of modern models. The information massif for an estimation of a technological level of models is built.

Підземний ремонт свердловин зумовлює використання противикидового обладнання на всіх газових свердловинах та в ряді випадків на нафтових. Надійність його виконання значною мірою залежить від технічної досконалості обладнання, в тому числі противикидового, технічний рівень якого зумовлюється матеріало- та габаритомісткістю. Ці показники значною мірою визначають технічну досконаліть превенторів: зручність обслуговування, ремонто- та монтажоздатність, транспортабельність. Від габаритомісткості превентора також залежить мінімальна допустима висота розташування робочого майданчика, яка значною мірою зумовлює зручність виконання робіт.

Нині відома чимала кількість моделей та типорозмірів превенторів, але в літературі недостатня увага приділена аналізу їх матеріало- та габаритомісткості. Тільки в ряді каталогів виробників вказується на досягнення в певній моделі кращих показників, не відображуючи кількісну величину. Інші джерела вказують на вагомість впливу того чи іншого показника на технічний рівень моделі, не визначаючи його значення.

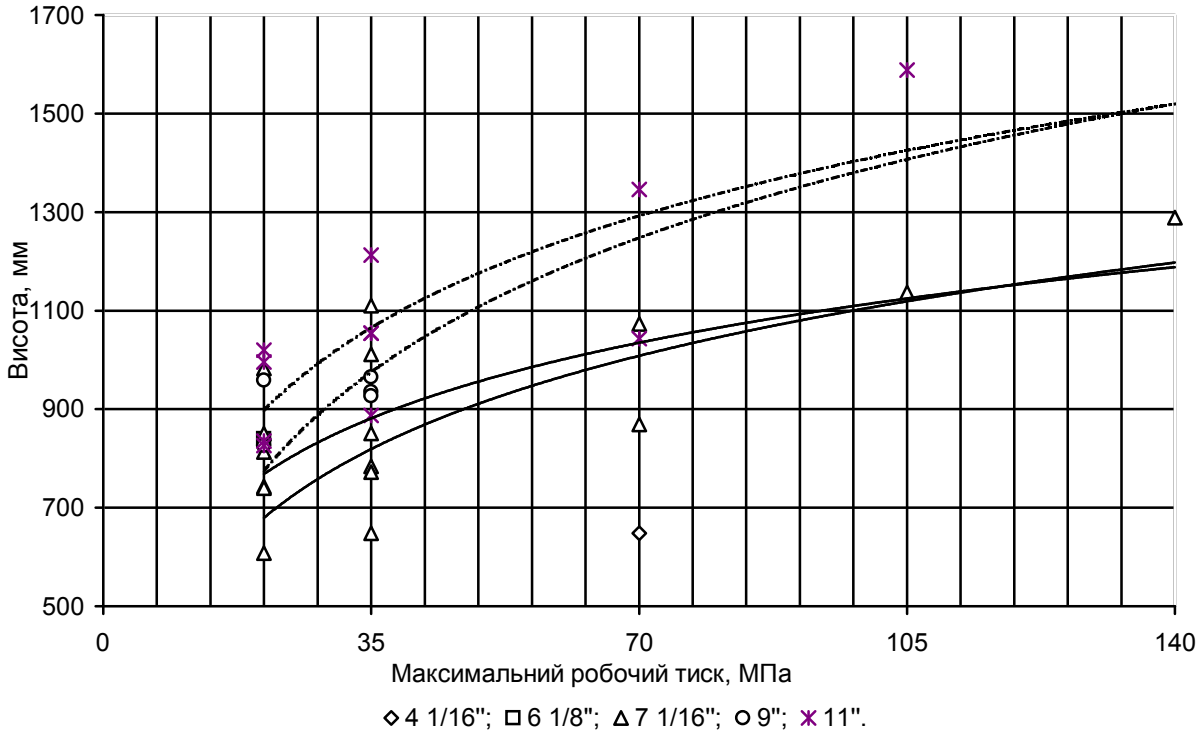
Оновленню та розширенню парку превенторів нафтогазовидобувних та сервісних компаній повинно передувати не тільки встановлення необхідних експлуатаційних характеристик обладнання для задоволення умов експлуатації, а й аналіз технічного рівня моделей. Належним чином вибрані технічні характеристики та високий технічний рівень цього обладнання створить передумови надійного і в першу чергу безпечного виконання підземного ремонту свердловин.

На основі порівняння технічних характеристик модельного ряду превенторів, що випускаються нині та 20...25 річної давності визначено, що основним напрямком конструктивного удосконалення моделей є: зменшення їх висоти та габаритів в цілому і зростання питомої матеріаломісткості конструкції (маса, що припадає на одиницю об'єму конструкції); розширення діапазону можливих до використання діаметрів свердловинного інструменту; скорочення часу та зменшення ручної праці для обслуговування превенторів; впровадження плашок з можливістю герметизації діапазону типорозмірів труб (наприклад 3 ½"...5", 5"...7"); підвищення ресурсу металевих та еластомірних компонентів ущільнень. Кількісно за критеріями матеріало- і габаритомісткістю сучасні моделі відрізняються від моделей 25-річної давності зменшенням висоти на 15...25% при зменшенні на 5...10% масових характеристик. Значення максимального діаметра свердловинного інструменту, що може використовуватись в сучасних моделях превентора, наведено в табл. 1.

Тому метою даного дослідження є встановлення сучасного технічного рівня моделей превенторів за показниками його матеріало- та габаритомісткості. Для організації масиву взято експлуатаційні характеристики превенторів тих виробників, розробка і виготовлення яких сертифіковані API за специфікацією 16A з правом встановлення на виробах монограми API [1], що забезпечує необхідний мінімальний рівень якості продукції. Сукупно розглянуто характеристики 131-о превентора 6-и основних світових виробників: Воронежський механічний завод, China National Petroleum Company (CNPC), Cameron, Hydril, Tounsend, Varco (Shafer). Деякі виробники, сертифіковані API, не ввійшли до цього переліку, оскільки їх модельний ряд представлений 1-2 типорозмірами або вони спеціалізуються на ремонті превенторів та виготовленні окремих комплектуючих для них. Основні експлуатаційні характеристики типорозмірів превенторів, що увійшли у вибірку, такі:

Таблиця 1

Діаметр прохідного отвору плашкового превентора, дюйми	4 1/16	7 1/16	9	11
Максимальний діаметр свердловинного інструменту, дюйми	2 7/8	5 9/16	7	8 5/8



Штрихпунктирна лінія – для умовного прохідного отвору 11” (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Суцільна лінія – для умовного прохідного отвору 7 1/16” (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Рисунок 1 — Залежність висоти універсального превентора від максимального робочого тиску

- максимальний робочий тиск (P, МПа) — 14, 21, 35, 70, 105 та 140;
- умовний прохід (D, дюйми) — 4 1/16, 6 1/8, 7 1/16, 9, 11.

Такий діапазон значень технічний характеристик задовольняє вимогам експлуатаційних умов. І хоча умовно превентори поділяються на ті, що використовуються в бурінні та для підземного ремонту, і критерієм поділу є величина умовного проходу (до 7 1/16 дюйма – для підземного ремонту, 11 і вище – для буріння), для досліджень включено превентори з умовним проходом до 11 дюймів, оскільки вони забезпечують можливість виконання операцій із інструментом діаметра 2 3/8 та вище, що перекриває діапазон діаметрів інструменту, який найбільш часто використовується при підземному ремонті (2 3/8” ....4 1/2 ”).

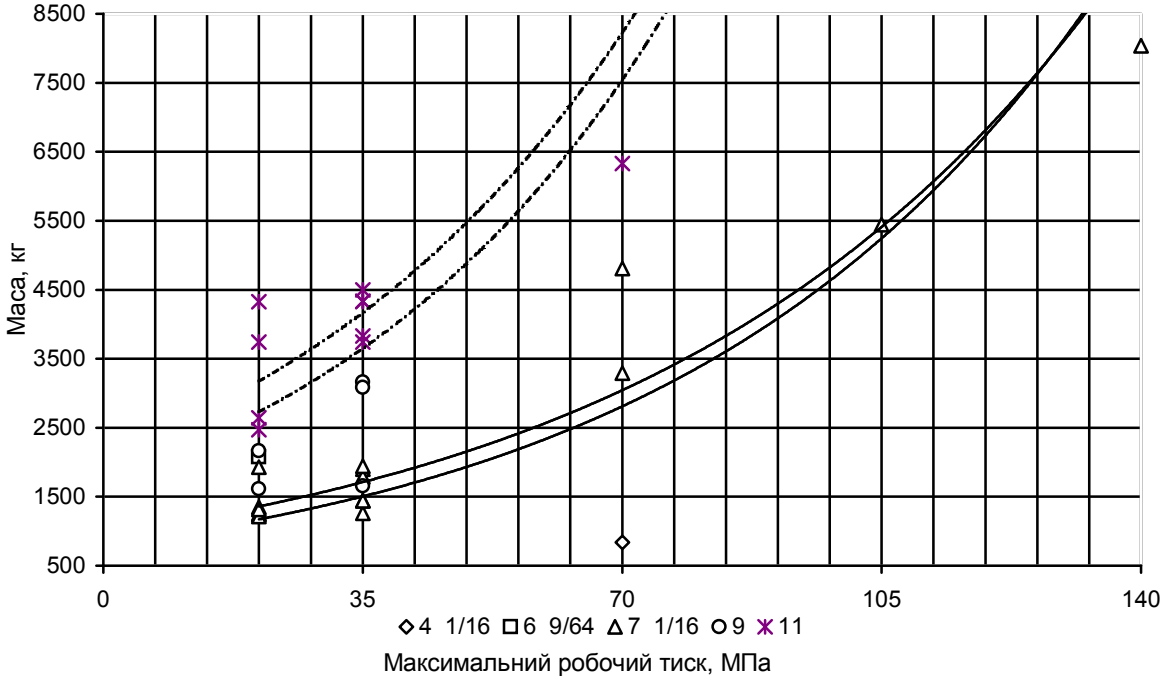
Оскільки універсальні та плашкові превентори мають різне конструктивне виконання, інформація стосовно цих конструкцій розділена та піддана обробці окремо. В свою чергу плашкові превентори конструктивно поділяються на одиночні, здвоєні та строєні, кожні з яких можуть бути виконані із фланцевим або безфланцевим (вгвинчуючі шпильки) з’єднаннями. В результаті на основі масиву технічних характеристик сформовано декілька однорідних виборок, а результати досліджень наведені нижче.

Універсальні превентори

Масив вихідної інформації сформовано із технічних характеристик 37 превенторів [2] різних типорозмірів 7-и базових моделей 5-и виробників (за виключення компанії Hydril). З них 19 превенторів виконані у двох конструктивних виконаннях – із фланцевим та безфланцевим з’єднанням.

Результатом аналізу є функціональні залежності (графічні та емпіричні) маси і висоти превентора із фланцевим з’єднанням від його експлуатаційних характеристик – робочого тиску (P, МПа) та умовного проходу (D, дюйми), які визначають середньостатистичний сучасний та кращий сучасний світові рівні. Графічні залежності висоти та маси превенторів із різним умовним проходом від його робочого тиску зображено на рисунках 1, 2. Для зменшення завантаженості графічного поля на ньому наведено тільки графічні залежності для превенторів з умовним проходом 7 1/16 та 11” (точки масиву технічних характеристик нанесені для моделей всієї вибірки).

Оскільки вибірка даних для превенторів із діаметрами 4 1/16” та 6 1/8” та робочими тисками 105 і 140 МПа малопрезентабельна (4 моделі), а такі превентори використовуються рідко, емпіричні залежності визначені для таких, найчастіше вживаних типорозмірів: діаметри прохідного отвору 7 1/16”, 9”, 11”; максимальні



Штрихпунктирна лінія – для умовного прохідного отвору 11” (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Суцільна лінія – для умовного прохідного отвору 7 1/16” (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Рисунок 2 — Залежність маси універсального превентора від максимального робочого тиску

робочі тиски 21, 35, 70 МПа. Достовірність апроксимації для цих залежностей становить $R^2 \geq 0{,}9$. Емпіричні залежності наведено нижче.

Середньостатистичний сучасний світовий рівень (визначення висоти превентора)

$$H = \left(64{,}608D^2 - 1140D + 5049{,}9\right) \cdot \ln(P) - \\ - 222{,}08D^2 + 3962{,}1D - 16810 .$$

Кращий сучасний світовий рівень (визначення висоти превентора)

$$H = \left(79{,}684D^2 - 1408{,}8D + 6248{,}2\right) \cdot \ln(P) - \\ - 295{,}28D^2 + 5264{,}9D - 22606 .$$

Середньостатистичний сучасний світовий рівень (визначення маси превентора)

$$m = \left(86{,}962D^2 - 1279D + 5658{,}3\right) \times \\ \times e^{\left(-0{,}0009D^2 + 0{,}0176D - 0{,}0616\right) \cdot P} .$$

Кращий сучасний світовий рівень (визначення маси превентора)

$$m = \left(-71{,}423D^2 + 1533{,}8D - 6463{,}7\right) \times \\ \times e^{\left(0{,}0045D^2 - 0{,}0805D - 0{,}3619\right) \cdot P} .$$

Для перерахунку значень емпіричних залежностей для превенторів із безфланцевим з’єднанням визначено перевідний коефіцієнт $K_m = m/m_ф$, $K_L = L/L_ф$. Ці коефіцієнти для понад 90% розглянутих превенторів становлять такі величини: $K_m = 0{,}96 \ldots 0{,}98$; $K_L = 0{,}82 \ldots 0{,}87$. Тобто, фланцеве з’єднання збільшує масу превентора на 2...4 %, а його висоту на 13...18%.

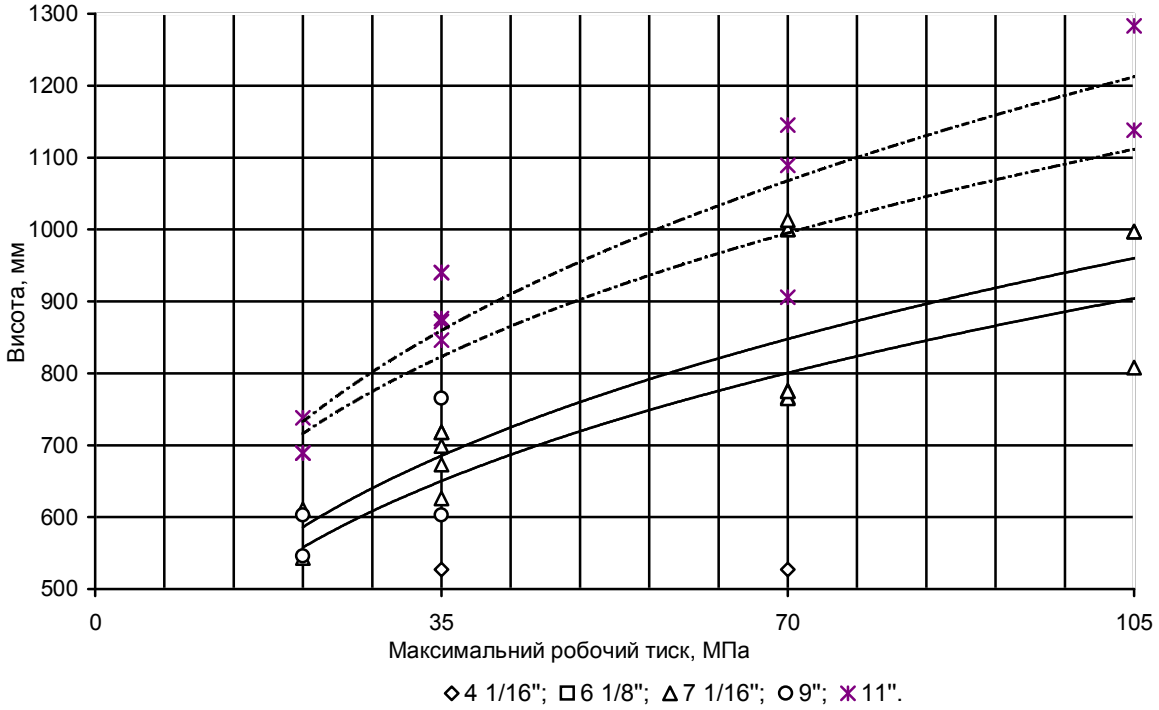
Поряд із визначеними залежностями обчислено питому матеріаломісткість превенторів, зростання якої характеризує вищу досконалість конструктивних рішень, прийнятих в моделі. Найбільш сучасні моделі володіють величиною 5100...5300 кг/м^3 (близько 35% із розглянутих моделей), середньостатистичні моделі характеризуються величиною 4200...4700 кг/м^3 (близько 45% із розглянутих моделей) і найгірший рівень мають близько 20% моделей, для яких питома матеріаломісткість становить 3800...4000 кг/м^3.

Плашкові превентори

Масив вихідної інформації сформовано із технічних характеристик 94 превенторів [2] різних типорозмірів 15-и базових моделей 6-и виробників. З них 51 одиночний, 29 здвоєних та 14 строєних превенторів. 38 із зазначених моделей можуть бути виконані в двох конструктивних виконаннях – із фланцевим та безфланцевим з’єднанням.

Для отримання функціональних залежностей маси та висоти превентора від його експлуатаційних характеристик (робочого тиску та умовного проходу) виконано аналіз сукупності технічних характеристик одиночних плашкових превенторів із фланцевим з’єднанням. Для переносу результатів обчислень на превентори інших конструкцій (здвоєні, строєні, в тому чи-

слі із безфланцевими з'єднаннями) визначено



Штрихпунктирна лінія – для умовного прохідного отвору 11" (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Суцільна лінія – для умовного прохідного отвору 7 1/16" (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Рисунок 3 — Залежність висоти плашкового превентора від максимального робочого тиску

перевідні коефіцієнти.

Графічні залежності зображено на рис. 3, 4. Для зменшення завантаженості графічного поля на ньому наведено тільки графічні залежності для превенторів з умовним проходом 7 1/16 та 11" (точки масиву технічних характеристик нанесені для моделей всієї вибірки). Оскільки вибірка даних для превенторів із діаметрами 4 1/16" та 6 1/8" малопрезентабельна (5 моделей), а такі превентори використовуються рідко, емпіричні залежності визначені для таких, найчастіше вживаних типорозмірів: діаметри прохідного отвору 7 1/16", 9", 11"; максимальні робочі тиски 21, 35, 70 та 105 МПа.

Емпіричні залежності, які визначають середньостатистичний сучасний та кращий сучасний світові рівні одиночних плашкових превенторів із фланцевими з'єднаннями наведено нижче.

Середньостатистичний сучасний світовий рівень (визначення висоти превентора)

$$H = \left(11{,}877D^2 - 201{,}28D + 1059{,}5\right) \times \times P^{\left(-0{,}0053D^2 + 0{,}0967D - 0{,}1135\right)}.$$

Кращий сучасний світовий рівень (визначення висоти превентора)

$$H = \left(-9{,}0758D^2 + 186{,}18D - 638{,}45\right) \times \times P^{\left(0{,}0239D^2 - 0{,}4378D + 2{,}2018\right)}.$$

Середньостатистичний сучасний світовий рівень (визначення маси превентора)

$$m = \left(12{,}488D^2 - 190{,}62D + 759{,}09\right) \times \times P^{\left(0{,}0005D^2 - 0{,}0553D + 1{,}3081\right)}.$$

Кращий сучасний світовий рівень (визначення маси превентора)

$$m = \left(-6{,}5583D^2 + 134{,}13D - 559{,}65\right) \times \times P^{\left(0{,}0504D^2 - 0{,}8994D + 4{,}5774\right)}.$$

Для перерахунку значень емпіричних залежностей для превенторів із безфланцевим з'єднанням визначено перевідний коефіцієнт $K_m = m/m_ф$, $K_H = H/H_ф$.

Коефіцієнт K_m для понад 90% розглянутих превенторів знаходиться в діапазоні величин 0,86…0,93. Тобто маса фланцевого з'єднання становить7...14% від маси превентора.

Коефіцієнт K_H має значний розкид значень для моделей різних виробників, в той же час для моделей одного виробника ця величина приблизно рівна. При цьому слід зазначити, що кращі моделі одиночних плашкових превенто-

рів із фланцевим з'єднанням не входять до числа кращих із безфланцевими з'єднаннями за критерієм мінімізації висоти. Зокрема, коефіцієнт K_H для кращих фланцевих моделей рівний 0,83...0,87, а для решти середньостатистичних моделей цей коефіцієнт становить величину 0,57±0,3. Тобто, недосконаліть конструктивного рішення фланцевого з'єднання кращі безфланцеві моделі не є кращими із фланцевим з'єднанням. Тому для визначення кращого світового рівня безфланцевих моделей превенторів за критерієм висоти слід значення висоти для середньостатистичної моделі фланцевого превентора перемножувати на K_H=0,57±0,3.

Також встановлено коефіцієнт, що характеризує питоме зменшення маси та висоти здвоєних та строєних превенторів порівняно із базовою моделлю одиночного превентора. Значення цих коефіцієнтів наведено нижче.

$$K_{H2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{H_2}{H} = 0{,}67...0{,}75;$$

$$K_{H3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{H_3}{H} = 0{,}58...0{,}65.$$

$$K_{m2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{m_2}{m} = 0{,}83...0{,}93;$$

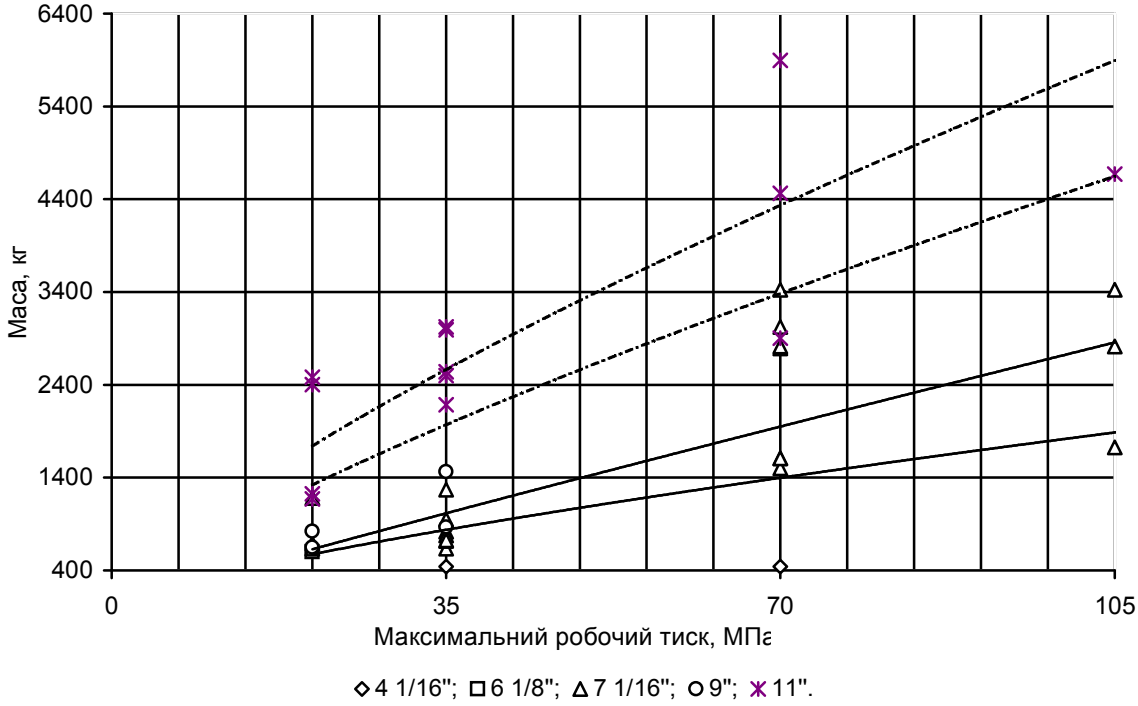
$$K_{m3} = \frac{1}{3} \cdot \frac{m_3}{m} = 0{,}69...0{,}74,$$

де: K_{H2}, K_{H3} – коефіцієнт, що характеризує питоме зменшення висоти здвоєного і строєного превенторів відповідно;

H, H_2, H_3 – висота одиночного, здвоєного та строєного превенторів однієї базової моделі, відповідно;

K_{m2}, K_{m3} – коефіцієнт, що характеризує питоме зменшення маси здвоєного і строєного превентора відповідно;

m, m_2, m_3 – маса одиночного, здвоєного та строєного превенторів однієї базової моделі, відповідно.



Штрихпунктирна лінія – для умовного прохідного отвору 11" (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Суцільна лінія – для умовного прохідного отвору 7 1/16" (верхня лінія – середньостатистичний сучасний світовий рівень, нижня лінія – кращий сучасний світовий рівень)

Рисунок 4 — Залежність маси плашкового превентора від максимального робочого тиску

Поряд із визначеними залежностями, обчислено питому матеріаломісткість одиночних безфланцевих превенторів, зростання якої характеризує вищу досконаліть конструктивних рішень, прийнятих в моделі. Найбільш сучасні моделі володіють величиною 2600...3200 кг/м^3 (близько 60% решта моделі характеризуються величиною 1800...2200 кг/м^3 .

Результати виконаних досліджень можуть бути використані на етапах розроблення нових моделей, передконтрактної підготовки до придбання існуючих моделей превенторів для підземного ремонту свердловин (універсальних та плашкових одиночних, здвоєних і строєних із фланцевим та безфланцевим з'єднанням) в широкому діапазоні їх типорозмірів (прохідний отвір 4 1/16 ... 11 дюймів, робочий тиск 21...105 МПа) для оцінки їх технічного рівня за показниками його матеріало- та габаритомісткості.

Література

1. The API Composite List. Copyright 2003 – American Petroleum Institute.

2. Каталоги продукції, рекламні проспекти та веб-сайти компаній виробників Воронезький механічний завод, China National Petroleum Company (CNPC), Cameron, Hydril, Tounsend, Varco (Shafer).