

Актуальні питання нафтогазової галузі

УДК 622.245

АНАЛІЗ МЕТОДИК РОЗРАХУНКУ ОБСАДНИХ КОЛОН ДЛЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Я.С.Коцкулич, М.В.Сенюшкович, О.Б. Марцинків, І.І.Наритник

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42153
e-mail: drill@ifdtung.if.ua

ВАТ "Український нафтогазових інститут", 03142, м. Київ, пр-т Палладіна, 44,
e-mail: itb@e-mail.pl.ua

Приведены факторы, влияющие на проектирование оптимальной конструкции обсадных колонн. Проанализированы зависимости для определения наружного, внутреннего давлений и трагивающей нагрузки, а также существующие методики расчета обсадных колонн на прочность. Поданы рекомендации для разработки нового руководящего документа.

The factors have been given that influence the design process of optimal project of casing strings. It has been analyzed the methods of dependence to determine the ambient and intrinsic pressures and ultimate joint strength. The existing methods of casing string strength analysis have been considered as well. There have been given recommendations for the development of new manual.

Вирішення питань, пов'язаних з проектуванням оптимальної конструкції обсадних колон, залежить від таких чинників:

- методики визначення навантажень, що діють на обсадні колони у свердловині на різних етапах роботи;
- методик визначення міцнісних характеристик обсадних труб;
- критеріїв підбору секцій обсадних труб для комплектування колони.

Кожен чинник окремо, як і всі разом, впливає на кінцевий варіант конструкції обсадної колони, яка може мати як не виправдано завищену міцність, так і недостатню.

На сьогоднішній день як у вітчизняній практиці, так і за кордоном існують різні точки зору щодо методики визначення навантажень на обсадні колони, причому кожна з них має певні обґрунтування, які суттєво різняться між собою. Обґрунтування вказаних методик і критеріїв для розробки нового керівного документа з розрахунку обсадних колон для нафтових і газових свердловин повинно базуватися на результатах фундаментальних наукових досліджень.

Методика визначення навантажень, що діють на обсадні колони у свердловині, має визначальний вплив, оскільки на цьому етапі вирішується питання відповідності розрахункових схем реальним умовам у свердловині. Обсадну трубу у свердловині можна порівняти з

посудиною високого тиску, яка здатна чинити опір зовнішньому та внутрішньому надлишковим тискам, розтягуючим, стискуючим та згинаючим навантаженням. При цьому також необхідно враховувати механічне та гідроабразивне зношування обсадних труб, корозію та вплив температури на сталь, з якої виготовлені труби.

Змінання обсадних колон під дією зовнішнього надлишкового тиску може відбутись у процесі спуску, при цементуванні, випробуванні колон на герметичність методом зниження рівня рідини в ній, в період освоєння та на пізній стадії експлуатації свердловини. Для проведення коректних розрахунків потрібно обґрунтувати розрахункові схеми для визначення величин зовнішнього та внутрішнього тисків для одного і того ж періоду роботи, а також вивчити роль цементного кільця поза обсадною колоною.

За чинною інструкцією розрахунку [1] зовнішній тиск поза обсадною колоною визначається:

- за величиною гідростатичного тиску, який створює стовп рідини, що знаходиться у незацементованій частині (у випадку коли обсадна колона не цементується до гирла);

- за величиною гідростатичного тиску, який створює стовп мінералізованої води, що насичує пори цементного каменю (для зацементованої частини колони після ОЗЦ);

– за величиною пластового тиску, якщо відомі тиски в пластах, які знаходяться в зацементованому інтервалі свердловини;

– за величиною гірського тиску в інтервалі залягання пласта, складеного породами, схильними до “витікання”.

Якщо визначення зовнішнього тиску у випадку, коли поза колоною знаходиться рідина, труднощів не викликає, то в інших випадках проблема повністю не вирішена, хоч з цього питання проведено багато досліджень, які ґрунтуються на різних підходах, а їх результати нерідко мають протилежний характер.

Так, М.М.Протоцько [2] рекомендує визначати зовнішній тиск з урахуванням тиску, який чинять гірські породи, що знаходяться поза цементним кільцем, і мають властивості сипучого тіла. Г.М.Саркісов запропонував метод [3], який базується на взаємозв'язку зовнішнього і внутрішнього тисків, а кріплення свердловини прирівнюється до циліндра, складеного цементною оболонкою та обсадною трубою, що дає змогу використовувати залежності Ляме. Ця методика обґрунтовує розвантаження обсадної колони за рахунок цементного кільця при дії зовнішнього тиску.

Дослідження, проведені А.І.Булатовим, Л.Б.Ізмайловим, А.Л.Відовським [4] та іншими, підтвердили, що в процесі твердіння тиск у порах цементного каменю знижується до гідростатичного. Г.С.Юзбашевим запропоновано при визначенні зовнішнього тиску враховувати фазові перетворення цементного розчину в камінь. Різні погляди на цю проблему висвітлені в дослідженнях Ю.А.Песляка, К.В.Руппенейта, А.Н.Дінника, А.А.Гайворонського, В.В.Грачова, Є.Г.Леонова, М.П.Гераніна, Є.М.Соловйова, О.І.Бережного, В.Т.Суркова, Ю.М.Лібермана та багатьох інших. Вказані методики ґрунтуються на багатьох припущеннях і, в першу чергу, передбачають концентричне розташування колони та цементного кільця.

Методикою АНІ величину зовнішнього тиску пропонується визначати за величиною гідростатичного, що створюється стовпом промивальної рідини, яка знаходилася в кільцевому просторі поза обсадною колоною до її цементування. Суть такого підходу пояснюється тим, що тиск поза обсадною колоною не може перевищувати гідростатичний тиск під час буріння свердловини. Однак таке припущення не повністю підтверджується, оскільки зовнішній тиск привільнюється до максимального, що в деяких випадках призводить до невиправданого завищення міцності обсадних колон.

Внутрішній надлишковий тиск в обсадній колоні змінюється як у процесі спорудження, так і експлуатації свердловини. Максимальних величин він досягає під час введення свердловини в експлуатацію при закритому гирлі та при закачуванні у свердловину технологічних рідин.

Мінімальні значення внутрішнього надлишкового тиску спостерігаються на кінцевій стадії експлуатації свердловини:

– для нафтових свердловин, коли рівень нафти в колоні знаходиться на певній глибині;

– для газових свердловин, коли колона заповнена газом з мінімальним внутрішнім тиском.

За методикою АНІ за максимальний внутрішній тиск, що діє на обсадну колону, приймається пластовий тиск, який може виникнути при бурінні під наступний інтервал свердловини. Припускається, що пластовий флюїд може витіснити всю промивальну рідину із свердловини, і тоді обсадна колона піддається дії пластового тиску, що особливо небезпечно для газових свердловин.

В практиці спорудження свердловин можуть бути випадки, коли тиск на гирлі досягає максимальних величин у процесі цементування обсадних колон.

При розрахунку на міцність проміжних колон, обладнаних противикидним обладнанням (ПВО), внутрішній максимальний тиск визначають з урахуванням найбільшого з тисків, який може виникнути при бурінні наступного інтервалу, при флюїдопроявленнях, викидах і відкритих фонтанах, під дією гідростатичного тиску промивальної рідини з максимального густиною або цементного розчину, піднятого до гирла за наступною обсадною колоною.

У різні періоди спорудження та експлуатації свердловини на обсадні колони діють осьові сили від ваги колон труб та її згину, а також додаткові сили, які виникають при цементуванні, обладнанні гирла, освоєнні та експлуатації свердловини внаслідок температурних змін. На сьогоднішній день розрахунок колон на міцність проводиться тільки з урахуванням осьової сили від ваги колон труб, недивлячись на те, що в цій області проведені численні дослідження, які дають змогу враховувати зміну сили ваги колон труб у часі, взаємодію труб зі стінками свердловини, вплив архімедової сили та інші чинники.

Стискуючі сили не враховуються, оскільки вони діють тільки на ті обсадні колони, які утримують внутрішні колони. Однак великих значень стискуючі сили, що діють на колону, досягають в інтервалах горизонтальних ділянок свердловини. Враховуючи те, що обсяг буріння свердловин з горизонтальними ділянками в останні роки інтенсивно збільшується, є потреба в розробці методики з оцінки впливу стискуючих навантажень на міцність обсадних труб.

Біаксіальні напруження, які виникають при одночасній дії розтягуючих сил та зовнішнього тиску, суттєво знижують опірність обсадних труб зминанню внаслідок пластичного руйнування. Методикою розрахунку, яка використовується в Україні, проводиться коригування величини зовнішнього критичного тиску обсадних труб залежно від величини розтягуючої сили. Однак результати розрахунків суттєво відрізняються від даних експериментальних досліджень, внаслідок чого формули носять наближений характер.

Згинаючі напруження при розрахунку обсадних труб з трикутним профілем різьби рекомендується враховувати шляхом зменшення

величини допустимих розтягуючих напружень. При розрахунку труб з трапецієподібним профілем різьби вказана методика базується на припущенні, що при згині таких труб в з'єднаннях не виникає додаткових напружень. Тому при інтенсивності викривлення свердловини до 5 градусів на 10 метрів для труб діаметром до 168 мм і до 3 градусів на 10 метрів для труб діаметром понад 168 мм розрахунок проводиться аналогічно вертикальним свердловинам. При інтенсивності викривлення свердловин від 3 до 5 градусів на 10 метрів для труб діаметром понад 168 мм величина допустимого навантаження повинна бути зменшена на 10%. Крім цього, відсутні рекомендації для розрахунку колон в інтервалах, де інтенсивність викривлення перевищує 5 градусів на 10 метрів, хоч буріння таких свердловин ведеться як у нас, так і за рубежом. Вказані рекомендації прийняті без достатнього наукового обґрунтування і не відповідають реальним умовам роботи обсадних колон у свердловині.

При розрахунку конструкцій на міцність і стійкість ставляться вимоги, щоб напружено-деформований стан системи в процесі експлуатації не досягнув небезпечної межі, що досягається введенням коефіцієнтів запасу міцності відносно навантажень, величина яких залежить від ступеня відповідності прийнятих припущень і повинна враховувати:

- можливі відхилення експлуатаційних навантажень від розрахункових;
- неминучу дисперсію в експериментальному визначенні величини небезпечних навантажень;
- неточність прийнятих методів розрахунку;
- неточність виготовлення виробу;
- ступінь однорідності матеріалу;
- механічне та корозійне зношування виробу;
- температурні навантаження та інші.

При розрахунку на стійкість форми (пластичні деформації) допускаються нижчі запаси міцності у зв'язку з тим, що утворення залишкових деформацій не призводить до остаточного руйнування конструкції.

При розрахунку на опірність крихкому статичному руйнуванню запаси міцності підвищуються, оскільки існує небезпека руйнування через неоднорідність матеріалу та його анізотропність.

Існує три методи розрахунку конструкцій на силові дії:

1) розрахунок за допустимими напруженнями, який ґрунтується на уяві про пружну роботу матеріалу конструкції і у його основі лежить порівняння розрахункових напружень з так званими допустимими. Гарантія "допустимих" умов експлуатації досягається шляхом введення одного коефіцієнта запасу на напруження, який повинен враховувати всі перелічені вище фактори;

2) розрахунок за руйнівним навантаженням, який враховує роботу окремих елементів конструкції в області пластичних деформацій.

Аналізуючи схему руйнування, визначають навантаження (так зване руйнівне), яке відповідає повному вичерпанню несучої здатності конструкції. У методиці розрахунку за руйнівним навантаженням умова міцності ставить вимогу, щоб максимальне навантаження на конструкцію не перевищувало допустимого, яке визначається як руйнівне, поділене на коефіцієнт запасу міцності. До уваги береться найменше з руйнівних навантажень з усіх можливих схем навантаження;

3) розрахунок за граничним станом є удосконаленням перших двох методик розрахунку. Суть цього методу полягає у забезпеченні таких умов роботи конструкції, при яких була б виключена можливість настання розрахункового граничного стану. Під розрахунковим граничним станом розуміють такий стан конструкції, при якому вона втрачає здатність чинити опір зовнішнім силовим діям, або перестає задовольняти задані експлуатаційні вимоги. У розрахунках коефіцієнт запасу міцності замінюється системою коефіцієнтів:

- за напруженнями;
- за навантаженнями;
- за умовами експлуатації.

Порівняльний аналіз методів розрахунку засвідчує явну перевагу методу за граничним станом, оскільки він дає можливість виявити приховані резерви міцності та зменшити вагу конструкції.

Однак не можна вважати цей метод розрахунку універсальним, який міг би повністю замінити метод за допустимими напруженнями. Це пояснюється тим, що у багатьох конструкціях, в тому числі і в обсадних трубах, за умовами їх роботи не можна допускати появи хоча б місцевих пластичних деформацій при експлуатаційних навантаженнях. Так, за даними Г.Б.Біргера [5] робота різьби в пластичній області призводить до втрати затяжки з'єднання. Крім цього, якщо попередньо були досягнуті пластичні деформації в різьбі, то можливе їх подальше збільшення без зростання осьових навантажень за рахунок температурних змін.

Останнім часом висувуються пропозиції щодо застосування цього методу для розрахунку обсадних колон. Однак, враховуючи сказане, використання методу граничного стану через відсутність ґрунтовних досліджень є передчасним.

Враховуючи проведений аналіз проблеми, для розробки «Інструкції з розрахунку обсадних колон для нафтових і газових свердловин» можуть бути використані такі концептуальні положення:

1) Розрахунок величин зовнішнього надлишкового тиску пропонується визначати для таких етапів:

- кінцева стадія цементування обсадної колони;
- перевірка герметичності обсадної колони шляхом зниження рівня рідини в ній;
- освоєння свердловини за рахунок пониження рівня рідини в колоні;
- кінцева стадія експлуатації свердловини.

Необхідно внести також зміни до розрахункових схем, що стосуються кінцевої стадії експлуатації свердловини. Вони стосуються визначення зовнішнього тиску: замість тиску, який створює рідина, що насичує пори тампонажного каменю, необхідно приймати тиск, який створює рідина, що використовувався при бурінні. При цьому обсадна колона опорожнена на всю глибину. Такі зміни є виправданими, оскільки не відома густина рідини в порах тампонажного каменю і не врахована роль тампонажного кільця. При використанні такої розрахункової схеми можуть бути зменшені коефіцієнти запасу міцності на зовнішній надлишковий тиск.

2 Розрахунок величин внутрішнього надлишкового тиску необхідно визначати для періоду перевірки колони на герметичність шляхом її опресування в один захід без пакера. За бажанням замовника опресування може проводитись частинами з використанням відповідних розрахункових схем.

3 Величину зовнішнього критичного тиску обсадних труб у вертикальних свердловинах пропонується визначати за формулою Г.М.Саркісова, а для похило-спрямованих свердловин – за формулою, розробленою кафедрою буріння ІФНТУНГ.

4 Розрахунок внутрішнього критичного тиску для обсадних труб проводити за формулою Барлоу.

5 Розрахунок на міцність різбових з'єднань обсадних труб.

5.1 Розрахунок обсадних труб для вертикальних свердловин:

а) для з'єднань з трикутним профілем різби пропонується формула Яковлева-Шумілова або формула Мочернюка Д.Ю., яка дає результати, наближені до експериментальних;

б) з'єднання з трапецієподібним профілем різби необхідно розраховувати на навантаження, яке призводить до руйнування труби чи муфти в небезпечному перерізі або пружного виходу труби з муфти. До уваги береться найменше з трьох величин.

5.2 Розрахунок обсадних труб для похило-спрямованих свердловин:

а) розрахунок з'єднань з трикутним профілем різби полягає в коригуванні коефіцієнта запасу міцності на розтяг з урахуванням інтенсивності викривлення свердловини або зменшенні величини зрушуючого навантаження на величину, яка виникає від дії згинального моменту (визначається за методикою АНІ);

б) розрахунок з'єднань з різбою трапецієподібного профілю полягає у врахуванні додаткового навантаження від дії згинального моменту (визначається за методикою кафедри буріння ІФНТУНГ або за методикою АНІ).

Література

1. Инструкция по расчету обсадных колонн для нефтяных и газовых скважин. – М., 1997. – 194с.
2. Протодяконов М.М. Давление горных пород и рудничное крепление. – ОНТИ, 1931.
3. Саркисов Г.М. Расчет обсадных труб и колонн. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 243 с.
4. Видовский А.Л., Булатов А.И. О передаче давления пластового флюида на обсадную колонну через цементную оболочку // Тр. ВНИИ КРнефть. – Краснодар: Краснодарское книжное издательство., 1973. – С. 212-217.
5. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые соединения. – М.: Машиностроение, 1973. – 255 с.

Міжрегіональна науково-практична конференція

Концептуальні підходи до підготовки спеціалістів з обліку і аудиту в сучасних умовах України

м. Харків
(19 березня 2004 р.)

Оргкомітет конференції

61002, м. Харків, вул. Артема, 8,
Харківський інститут бізнесу і менеджменту
“Конференція”

тел: (0572) 47-51-30, 43-35-01
Кравченко Світлана Георгіївна
e-mail: dekan@hibm.kharkov.ua
http://hibm.kharkov.com

Напрямки конференції:

- Кваліфікаційні вимоги до сучасних облікових працівників та шляхи їх освітнього забезпечення
- Проблеми забезпечення якості освіти
- Нові інформаційні технології та їх застосування в процесі підготовки облікових працівників
- Підготовка облікових працівників у галузі аналізу економічної діяльності господарюючих суб'єктів
- Досертифікаційна підготовка аудиторів
- Правова підготовка облікових працівників
- Міжнародні стандарти бухгалтерської освіти та шляхи їх реалізації в Україні