



## Розроблення компресорного обладнання для технологій видобування вуглеводнів з використанням азоту

Г. В. Кирик<sup>1)</sup>, П. Є. Жарков<sup>2)</sup>, Г. А. Бондаренко<sup>3)</sup>, Б. А. Блюсс<sup>4)</sup>, В. Г. Шевченко<sup>5)</sup>, М. М. Лях<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> Концерн «НІКМАС», просп. Курський, 6, 40020, м. Суми, Україна;

<sup>2)</sup> НВАТ «ВНДІкомпресормаш», просп. Курський, 6, 40020, м. Суми, Україна;

<sup>3)</sup> Сумський державний університет, вул. Римського-Корсакова, 2, 40007, м. Суми, Україна;

<sup>4), 5)</sup> Інститут геотехнічної механіки НАН України, вул. Сімферопольська, 2а, 320600, м. Дніпро, Україна;

<sup>6)</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, 76019, м. Івано-Франківськ, Україна

### Article info:

Paper received:

01 December 2016

The final version of the paper received:

19 December 2016

Paper accepted online:

22 December 2016

### Correspondent Author's Address:

<sup>3)</sup> [g.bondarenko@kttf.sumdu.edu.ua](mailto:g.bondarenko@kttf.sumdu.edu.ua)

У статті наведено огляд підсумків дослідно-конструкторських робіт, спрямованих на розроблення та впровадження компресорних технологій із використанням азоту для видобування вуглеводнів. Азот як найбільш доступний газ використовується як нейтральне середовище при виконанні різноманітних робіт: нагнітання газу в свердловини для стабілізації пластового тиску при розробленні газонафтових родовищ, видобування газового конденсату, а також під час виконання ремонтних робіт і випробування газопроводів. Значну роль відіграє використання азоту для гасіння пожеж у вугільних шахтах. Реалізація цих технологій потребує розроблення та освоєння виробництва вітчизняного компресорного обладнання. У статті наведені деякі приклади розробок компресорних станцій на базі гвинтових та поршневих компресорів, що відповідають сучасним вимогам з ефективності, надійності, ергономічності та екології, обладнані системами контролю та регулювання на базі контролерів. Наведено опис та характеристики компресорного обладнання, а також деякі результати впровадження компресорів і технологій із використанням азоту як нейтрального середовища.

**Ключові слова:** технології видобування вуглеводнів, компресорне обладнання, азотні станції.

## 1. ВСТУП

### 1.1 Актуальність теми

У світовій практиці видобування вуглеводнів (природного газу, газового конденсату, нафти, попутного нафтового газу, шахтного метану, вугілля) все більше поширюється використання технічного азоту. Особливі властивості азоту як нейтрального газу використовуються для створення нейтральних середовищ у технологіях видобування вуглеводнів, для інтенсифікації видобування вуглеводнів шляхом впливу на пласти, запобігання пожежам та вибухам, що завдають значні матеріальні збитки, а також є загрозою для здоров'я і життя персоналу [1–2].

Головним чинником, що стримує використання азоту, є економічно доцільні технології та обладнання для одержання азоту з повітря. Існують три головні способи для одержання азоту [3–6]:

- розподіл повітря;
- адсорбція;
- мембранний спосіб.

В установках розподілу повітря застосовується низькотемпературний розподіл за допомогою турбодетандерів. Цей спосіб дуже енерговитратний і складний апаратно, потребує значних капітальних витрат.

Адсорбційний метод забезпечує низьку собівартість отримання азоту. Такі установки мають обмежену продуктивність і потребують значної кількості адсорбентів.

Мембранна технологія активно розвивається у світі завдяки високій економічності та порівняно простій технічній реалізації. В Україні такого досвіду не було.

### 1.2 Формулювання проблематики

Основні технології, для яких потребуються азот при розробленні вуглеводних родовищ:

- видобування вуглеводнів із земних надр;
- забезпечення безпечної експлуатації обладнання;
- ремонт свердловин, трубопроводів;
- випробування газопроводів і газових апаратів;
- гасіння пожеж у вугільних шахтах і у сховищах вуглеводнів.

Метою роботи були розроблення та впровадження новітніх компресорних технологій у видобувній промисловості із використанням азоту, як нейтрального середовища, а також розроблення для цього компресорного обладнання нового покоління. Поняття «компресорна технологія» містить в собі як особливо-

сті конструкції компресорів, так і особливості їх роботи в умовах експлуатації на родовищах вуглеводнів. При цьому обладнання повинно відповідати високим сучасним вимогам енергоефективності, ергономіки і екології.

У статті наведено стислий огляд результатів цієї комплексної, багаторічної роботи декількох наукових та виробничих організацій України.

## 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1. Підвищення конденсатовіддачі газоконденсатних родовищ (ГКР) шляхом впливу на пласти азотом

Адсорбційна азотна компресорна станція для генерування інертного газового середовища [5–6].

Головною умовою всіх газових технологій є необхідність одержання та збереження достатньої кількості азоту безпосередньо на родовищі. Для цього було створено низку азотних компресорних станцій, які належать до систем генерування інертного газового середовища на основі азоту для забезпечення технологічних процесів у нафтовидобувній, газовій, нафтопереробній, нафтохімічній промисловості. Застосування нових конструктивних елементів установки, нового характеру зв'язку складових частин установки, зокрема застосування для охолоджувачів станції додаткової лінії подання охолоджувальної рідини компресорної станції, підвищує ефективність роботи охолоджувачів та зменшує габарити станції. Застосування ресиверів поліпшує надійність роботи конструктивних елементів станції, рівномірність навантаження на конструктивні елементи та ефективність роботи адсорбційного газорозподільного модуля, забезпечуючи ефективний процес його регенерації.

На рис. 1 наведена схема азотної компресорної станції для приготування азотної захисної атмосфери, а на рис. 2 – схема мокрої комбінованої градирні з розміщеним у збірнику охолодженої води градирні проміжним охолоджувачем охолоджувальної рідини лінії подання охолоджувальної рідини.

Під час роботи станції повітря послідовно стискується в ступенях блока стиснення повітря 1 нагнітачами 3, охолоджується охолоджувачами 4 між ступе-

нями нагнітання і звільняється від вологи у вологовідділювачах 5. У випадку порушення стійкості режиму роботи відкривається пропускний клапан 9 і стиснене повітря після третього ступеня стиснення повітря накидається по лінії 8 на вхід блока стиснення повітря 1. При штатній роботі повітря після третього ступеня стиснення направляється в ресивер 10, після якого скеровується на вхід блока фільтрів 11, де воно очищається і охолоджується в охолоджувачі 12, зокрема із застосуванням холодильної машини 13, що забезпечує глибокий рівень охолодження. Охолоджувальні станції 14 і 4, які приєднано до лінії 15, охолоджуються рідиною, яка, у свою чергу, охолоджується у проміжному охолоджувачі 16; охолоджувальний бік розміщений у збірнику 17 охолодженої води градирні 18. Оброблене в блоці 11 повітря спрямовується у газорозподільний модуль 19 і в адсорбери 20, які за сигналом керуючого блока 21 працюють навперемінно, від повітря відділяється азот. Проміжний ресивер 23 забезпечує рівномірне завантаження устаткування й забезпечує ефективний процес продування і регенерації адсорберів 20 за сигналом керуючого блока 21. Збагачений у газорозподільному модулі 19 азотом газ через проміжний ресивер 23 спрямовується в блоки стиснення азоту 22. Для забезпечення необхідної продуктивності азотної компресорної станції може бути введено в роботу кілька паралельно з'єднаних блоків стиснення азоту 22.

Азотна станція для накачування газоподібного азоту в свердловини газоконденсатних родовищ [5].

Застосування технологій розроблення із використанням методів підтримки пластового тиску може забезпечити підвищення газовіддачі на 10–15 %, а конденсатовіддачі – на 20–30 %. Гостра актуальність проблеми поточного стану енергоресурсів в Україні обумовила визначення шляхів підвищення інтенсифікації пластового тиску з використанням сучасних вторинних технологій активного впливу на свердловини. Зокрема, на Котелевському родовищі Полтавської області погоджено застосування газоподібного азоту, одержаного з атмосферного повітря безпосередньо на місці його використання.

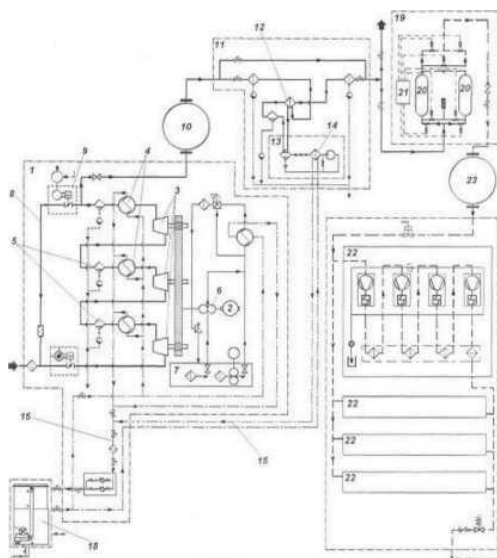


Рисунок 1 – Схема азотної компресорної станції

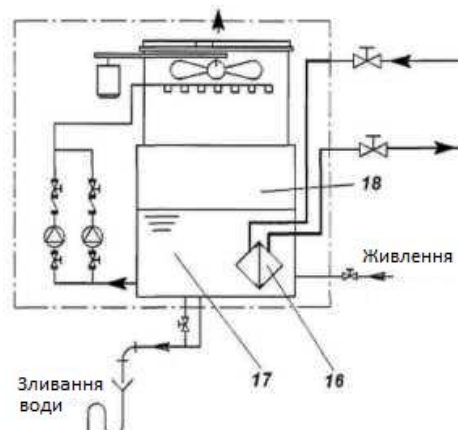
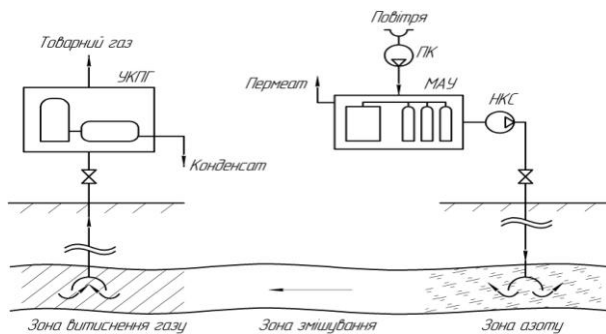


Рисунок 2 – Схема градирні

У результаті тривалої попередньої роботи ТОВ «МІКЕМ» концерну «НІКМАС» було здійснено розроблення станції блочно-модульного виконання для цілодобового виробництва 50 000 м<sup>3</sup>/добу газоподібного азоту, спрощена схема якої наведена на рис. 3. Цей комплекс устаткування забезпечує одержання з атмосферного повітря газоподібного азоту концентрацією не менше 99 % із його подальшим накачуванням у свердловину газоконденсатного родовища (ГКР) під тиском до 250 бар. Основні технічні характеристики азотної станції наведені у табл.1.

Моніторинг і керування за роботою всього устаткування, що експлуатується в цілодобовому автоматичному режимі, здійснюється з єдиного віддаленого пульта через систему вищого рівня з мінімальною присутністю персоналу. Весь комплекс складається з окремих блоків-боксів виконання, з'єднаних між собою комунікаціями. Устаткування компресорного модуля середнього тиску (відцентровий компресор, компресор стартового повітря, насосний вузол і система керування) монтується усередині одного кон-



**Рисунок 3** – Спрощена схема впливу на пласт азотом при видобуванні газу: УКПГ - установка комплексної підготовки газу; ПК – повітряний компресор; МАУ – мембранна азотна установка; НКС-нагнітальна компресорна станція



**Рисунок 5** – Градирня з автоматичним насосним вузлом

тейнера (рис.4). Як компресор середнього тиску застосований багатоступеневий компресор відцентрового типу з водяним охолодженням. Він призначений для стиснення атмосферного повітря до тиску газорозподілу.

Градирня з автоматичним насосним вузлом (рис. 5) призначена для охолодження води, використовуваної як охолоджувальна рідина, що відбирає тепло стисненого повітря на ступенях стиснення відцентрового компресора і холодильного осушувача, модуля підготовки повітря і загальної системи керування. Автоматичний насосний вузол призначений для подачі охолодженої рідини до відцентрового компресора і холодильного осушувача (рис. 6). Устаткування модуля підготовки стисненого повітря й операторська (фільтр попереднього і тонкого очищення, холодильний осушувач, система керування станцією) монтується у контейнері, розділеному всередині перегородкою на операторську зону й технологічний блок.



**Рисунок 4** – Відцентровий компресор



**Рисунок 6** – Холодильний осушувач і система фільтрів

**Таблиця 1** – Технічні характеристики азотної станції

Найменування параметра	Розмірність	Значення
Стисливе середовище		атмосферне повітря
Середовище, що дотискається		газоподібний азот
Об'ємна продуктивність станції щодо азоту, зведена до нормальних умов	м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /хв)	0,67 (40)
Тиск повітря початковий, номінальний	МПа	0,101 (1,033)
Тиск азоту кінцевий надлишковий, не більше	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	25 (250)
Чистота азоту	%	99
Напруга живлення устаткування станції	В	6 000/380/220/24
Загальна споживана потужність устаткуванням станції, не більше	кВт	950
Кількість контейнерів з устаткуванням станції	од.	4
Виконання електроустаткування станції		невибухозахисне
Режим роботи		безперервний

Холодильний осушувач та система фільтрів призначені для очищення стисненого відцентровим компресором атмосферного повітря від механічних домішок та його осушення до заданої точки роси перед подачею в модуль газорозподілу. Фільтри попереднього тонкого очищення, холодильний осушувач (усередині корпусу) обладнані автоматичними конденсатовідвідниками, що забезпечують скидання конденсату в загальну дренажну систему (рис. 7).

Система керування станції (рис.7) забезпечує централізоване автоматичне (або ручне) керування устаткуванням модулів станції за допомогою програмного контролера. Модуль компресорів високого тиску, призначений для дотискання газоподібного азоту до заданої величини, складається з групи поршневих дотискних компресорів (рис.8). До складу модуля газорозподілу входять генератори азоту адсорбційного типу, призначені для одержання зі стисненого підготовленого повітря газоподібного азоту заданої чистоти (рис. 9). Блоки-контейнери (рис. 10) являють собою збірну конструкцію, що складається із суцільнозварного каркаса; сендвіч-панелей; декоративних зовнішніх жалюзі; дво- та одностулкових дверей із запірними механізмами.

Контейнер обладнаний приливно-витяжною вентиляцією. З боку всмоктування та нагнітання повітря контейнер обладнаний нерегульованими жалюзі, що самовідкриваються під впливом повітряного потоку, створюваного вентиляторами. Система вентиляції в автоматичному режимі підтримує задану температуру усередині контейнера в теплу пору року.

Контейнер обладнаний системою робочого й аварійного освітлення відповідно до санітарних норм. Система опалення складається з настінних нагрівачів, що забезпечують відповідний мікроклімат у робочій зоні контейнера в холодну пору року і здійс-

нюють прогрівання устаткування перед пуском. Для обігрівання контейнера так само використовується тепло, що виділяється в системі охолодження компресорів. При підвищенні температури усередині контейнера вище від заданої (10 °C) опалення автоматично вимикається.

Метод штучного впливу на пласти азотом з метою підвищення конденсатовіддачі (сайклінг-процес) [3–6].

Значна кількість ГКР, зокрема і в Україні, уже вироблена або перебуває на завершальній стадії розроблення. Оскільки залишкові запаси рідких вуглеводнів у надрах цієї групи ГКР досить великі (50–60 % від початкових запасів), то існує актуальна проблема підвищення конденсатовіддачі об'єктів, що характеризуються виснаженими енергетичними ресурсами, а саме низьким пластовим тиском. Газовий конденсат є чудовою сировиною для отримання бензину, дизельного палива та ін.

Класичний метод сайклінг-процесу, призначений для добування газового конденсату, полягає в такому. Газ, що підіймається на поверхню у суміші з конденсатом, відділяється, очищається й інжектуються назад у пласт для піддержання пластового тиску, що сприяє подальшому видобуванню [6]. Фахівцями УкрНДІгазу запропоновано використання замість природного газу азоту, що дозволяє корисно використовувати газ і значно підвищує рівень безпеки [3]. Схема промислової установки подібна до вищенаведеної схеми на рис. 3

В Україні реалізація інноваційних методів застосування інертного газу була виконана на об'єкті ГПУ «Полтавагазвидобування» на Котелевському ГКР. На цьому об'єкті разом із концерном «НІКМАС» введена в експлуатацію азотна адсорбційна станція



Рисунок 7 – Панель системи керування станції

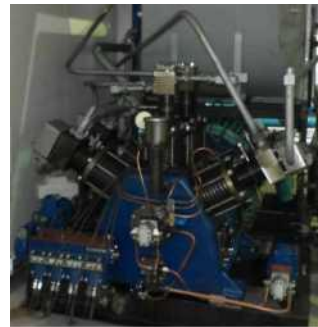


Рисунок 8 – Модуль компресора високого тиску



Рисунок 9 – Модуль газорозподілення



Рисунок 10 – Блоки-контейнери

ААВН-40/25 У1 (рис. 11), що одержує газоподібний азот з атмосферного повітря і накачує його в пласт під тиском 25 МПа. Станція працює в автоматичному режимі з передаванням параметрів на автоматизоване робоче місце оператора й оснащена системою віддаленого моніторингу.

Для безвідмовної роботи станція ААВН-40/25 У1 обладнана системами КППіА, електропостачання, приливно-витяжної вентиляції, охолодження устаткування розчином етиленгліколю, диференційно-поздовжнього захисту електричних трансформаторів, освітлення й електроопалення.

Станція виконана в блоково-модульному виконанні (рис. 12–15), тобто складається з окремих модулів: модуль компресора низького тиску (МКНТ), модуль підготовки стисненого повітря (МПСП), модуль розподілу повітря (МПП), модуль компресора високого тиску (МКВТ), модуль охолоджувача теплоносія (МОТ), ресивери (азоту і повітря).

Атмосферне повітря проходить через МКНТ (рис. 12), де очищається від пилу, стискується до необхідного тиску і накопичується в ресивері повітря.

Стиснене повітря проходить через МПСП (рис. 13), де відбувається остаточне очищення від механічних домішок і масла. Вологовміст повітря знижується до точки роси 3 °С.

Сухе чисте стиснене повітря надходить до МРП (рис. 14), де відбувається його розподіл в адсорберах. Збагачене киснем повітря скидається в атмосферу. Азот після МРП накопичується в ресивері азоту (рис. 16). Далі азот стискується в МКВТ (рис. 19) до тиску 25 МПа і нагнітається у свердловину.

Для забезпечення надійної роботи устаткування станції ААВН-40/25 У1 передбачене рідинне охолодження за допомогою циркуляції теплоносія (40 % розчин етиленгліколю). Теплоносій за допомогою насосної станції подається в МКНТ і МПСП. Гарячий теплоносій охолоджується в охолоджувачі теплоносія (ОТ). Для нормальної роботи ОТ (градирні випарного типу) необхідно забезпечити подання води для поповнення ємності ОТ (рис. 17). Автоматика станції побудована як ієрархічна дворівнева система і постачається з єдиною системою автоматичного



Рисунок 11 – Робота станції ААВН-40/25 У1 на Котельвському ГРП



Рисунок 12 – Модуль компресора низького тиску станції ААВН-40/25 У1



Рисунок 13 – Модуль підготовки стисненого повітря станції ААВН-40/25 У1



Рисунок 14 – Модуль поділу повітря станції ААВН-40/25 У1



Рисунок 15 – Модуль компресора високого тиску станції ААВН-40/25 У1

керування (САК) і контролю технологічного процесу вироблення і накачування азоту та автоматизованим робочим місцем оператора (АРМ) (рис. 18).

З урахуванням позитивних результатів введення в експлуатацію станції ААВН-40/25 У1 на Котельвському ГКР застосування методів штучного впливу на пласти з метою підвищення конденсатовіддачі, а також заміщення обсягів циркуляційного (буферного) газу з метою його корисного використання, варто вважати найважливішим фундаментальним завданням найближчих років для газодобувної промисловості України.

## 2.2. Способи попередження, локалізації, гасіння підземних пожеж у вугільних шахтах за допомогою азотних компресорних станцій

Застосування пересувних азотних компресорних станцій з мембранним розділовим блоком подані у працях [5, 7–10].

Розробленню і створенню нових ефективних технологій і методів попередження, локалізації та ліквідації наслідків пожеж у багатьох галузях промисловості, забезпечення безпеки ведення гірничих робіт передували ряд надзвичайних ситуацій, що мали місце у вугільній промисловості України, країн ближнього і далекого зарубіжжя. Причиною займання та вибухів у шахтах є непрогнозовані викиди шахтного метану.

Для успішної боротьби з вогняною стихією сучасна протипожежна служба повинна мати у своєму розпорядженні різноманітну техніку. Пожежні автомобілі, автонасоси і т. п. – це оснащення, розраховане на застосування води для гасіння пожежі і безпосередньо пов'язане з наявністю її джерела. Багатотонні автоцистерни, використовувані у випадках, коли доступ до джерела води утруднений або навіть

неможливий, також не вирішують проблему безперервної подачі води через її запас, що вичерпується. У зв'язку з цим розроблення нових методів гасіння пожеж є одним із найважливіших завдань.

На сьогодні відомі та застосовуються різні способи запобігання і гасіння пожеж. Найбільш ефективний з них полягає у створенні інертного газового середовища в ізольованому просторі вогнища пожежі. Необхідна для цього техніка будується на сучасних високих технологіях.

Вивчивши світову практику одержання інертних газових середовищ, технічні рішення, застосовувані провідними виробниками аналогічного устаткування, АТ «НВАТ «ВНДІкомпресормаш» у 2003 р. розробило проект, виготовило і випробувало дослідний зразок азотної мембранної гвинтової пересувної станції АМГП-15/0,7С У1. Для забезпечення вищезазначених параметрів у складі станції в якості газороздільного устаткування застосовані повітродіільні мембрани виробництва світового лідера в даній галузі – фірми Parker (США). З урахуванням вимог до мобільності у станції застосована повітряна система охолодження стисненого повітря.

Принцип дії мембранних газороздільних установок ґрунтується на різній швидкості проникнення газів через полімерну мембрану під дією перепаду парціальних тисків на мембрані. Кожний компонент повітряної суміші, що надходить у надмембранний простір на поділ, має свою швидкість проникнення, що залежить від його здатності розчинятися в мембрані і проникати через неї.

Моделювання процесів поділу повітря в порожнистоволоконних модулях (рис. 19) дозволило оптимізувати конструкцію газороздільних модулів азотних мембранних компресорних станцій.



Рисунок 16 – Резерви повітря і азоту станції ААВН-40/25 У1



Рисунок 17 – Охолоджувач теплоносія станції ААВН-40/25 У1



Рисунок 18 – САУ станції ААВН-40/25 У1

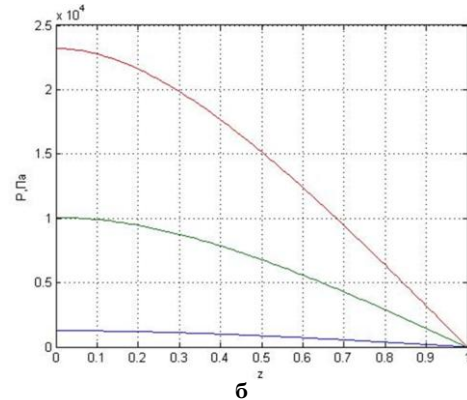
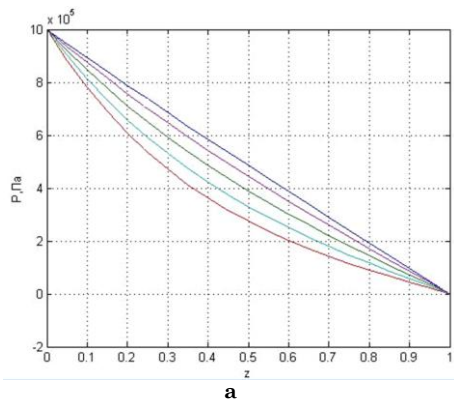


Рисунок 19 – Розподіл тиску по довжині порожнистоволоконних мембран (а) і розподіл тиску по довжині волокна в міжволоконному просторі (б)

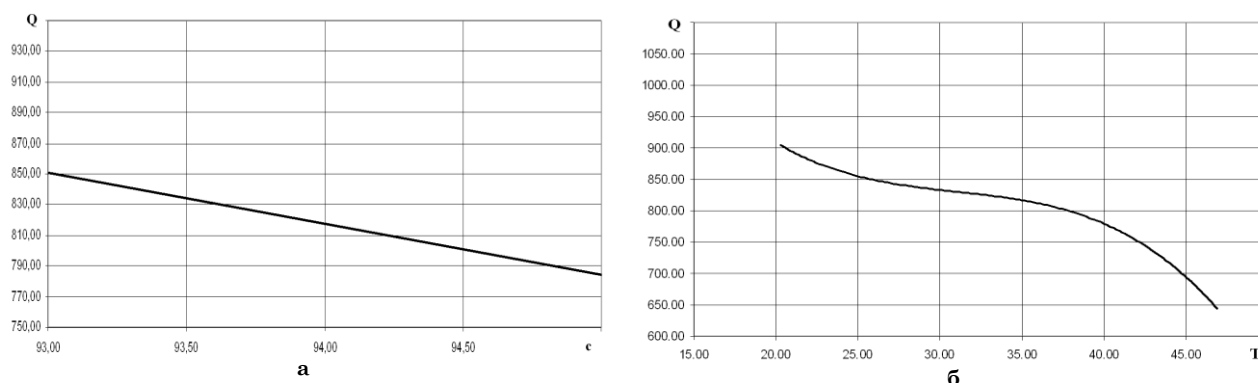


Рисунок 20 – Типові експериментальні результати залежностей продуктивності газороздільних мембранних блоків від концентрації (а) і температури (б)

Таблиця 2 – Характеристики ступеня добування газоподібного азоту

Марка установки	$U_A$	$\beta_A$	$\beta_A / (\beta_A)_{max}$
АМГП-0,25/1,2	0,99	0,125	0,16
АМВ-2,5/0,7	0,95	0,328	0,43
АМВ-5,5/0,7	0,95	0,360	0,48
АМГП-15/0,7	0,95	0,344	0,46
НД-20/33	0,95	0,483	0,64
СД-10/250	0,95	0,483	0,64

Таблиця 3 – Технічна характеристика станції АМГП-15/0,7 С У1

Характеристика	Значення
Продуктивність станції за азотом, м/хв	15
Тиск нагнітання азоту (надлишковий), МПа	0,7
Концентрація азоту на виході зі станції, %	до 97
Габаритні розміри (довжина×ширина×висота), мм	12 000×2 500×4 000
Маса, кг	32 000

Таблиця 4 – Вміст масла в стисненому повітрі, що подається компресорами різних типів

Тип компресорів	Вміст масла в стисненому повітрі, мг/м
Гвинтові сухого стиснення	Відсутнє
Відцентрові	0,001–0,010
Гвинтові маслозаповнені	2–15
Поршневі, що змащуються	2–10
Безмасляні поршневі	0,001–0,010

На рисунку 20 показані типові експериментальні результати залежностей продуктивності газороздільних мембранних блоків від концентрації і температури. Запропоновано також використовувати додатково зріджувач газоподібного азоту. Розрахункові значення коефіцієнтів добування газоподібного азоту подані в табл. 2. Величиною  $U_A$  позначена концентрація азоту в потоці азоту на виході з мембранного модуля,  $\beta_A$  – коефіцієнт добування газоподібного азоту,  $(\beta_A)_{max}$  – максимальне значення коефіцієнта добування.

Наявність зріджувача дозволить напрацювати деякий запас рідкого азоту завчасно, а також у процесі проходження станції до місця призначення у випадку використання дизельного привода компресора.

Мембранні картриджі змонтовані в мембранному модулі (рис. 21), з'єднані між собою складною системою технологічного устаткування. Керування процесом розподілу стисненого повітря на азот і сукупні

компоненти (пермеат) здійснюється за допомогою мікропроцесорної системи керування, створеної на сучасній елементній базі.

Для забезпечення безвідмовної роботи мембранного модуля упродовж усього терміну служби станції особливу увагу приділили якості повітря, що подається на поділ у мембранний модуль.

Загальний вигляд станції наведено на рис. 21, а технічні характеристики – в таблиці 3.



Рисунок 21 – Станція АМГП-15/0,7 С У1



Рисунок 22 – Мембранний модуль станції АМГП-15/0,7 С У1

Необхідність забезпечення цих вимог обумовила розроблення і використання в складі станції гвинтового компресорного агрегата сухого стиснення. Застосування таких компресорів дозволяє позбутися проблеми очищення стисненого повітря від масла, що значно зменшує вартість додаткових систем осушування, витрати на обслуговування й експлуатацію у зв'язку з невеликим обсягом усіх видів технічного обслуговування та збільшених міжремонтних термінів. Результати аналізу вмісту масла в стисненому повітрі, що подається компресорами різних типів, наведені в табл. 4.

Як бачимо, найменший вміст масла в стисненому повітрі у гвинтових компресорів сухого стиснення, безмасляних поршневіх і відцентрових. Порівнюючи гвинтові компресори сухого стиску з поршневіми, можна сказати, що основні труднощі при створенні й експлуатації безмасляних поршневіх компресорів стискання обумовлені необхідністю підбору пар тертя «циліндр – поршневі кільця», що працюють в умовах високих температур і більших швидкостей. Це значно знижує їх надійність і ресурс роботи. Крім того, поршневі компресори мають потребу в щоденному технічному обслуговуванні, більш трудомісткому, ніж обслуговування гвинтових. Гвинтові компресори сухого стиснення у двоступінчастому виконанні мають більші перспективи для застосування в промисловості при тиску робочого середовища до 1,15 МПа, що обумовлено їх надійністю і більшим ресурсом роботи, що досягає 100 000 годин і більше.

Крім того, якщо буде потреба очищення повітря від масла і його осушування при застосуванні маслозаповнених компресорів, вартість додаткового устаткування може перевищити вартість компресора. При цьому значно зростають і витрати на технічне обслуговування, заміну фільтрів і т. п., а якість наданого споживачеві повітря за вмістом масла поліпшується незначно й залишається недостатньою для сучасних промислових технологій. Найсучасніші методи очищення, що використовують комбіновані системи, які містять мікрофільтри, осушувачі й адсорбери, наприклад адсорбційні осушувачі, дозволяють знизити вміст масла лише до 0,003 мг/м<sup>3</sup>.

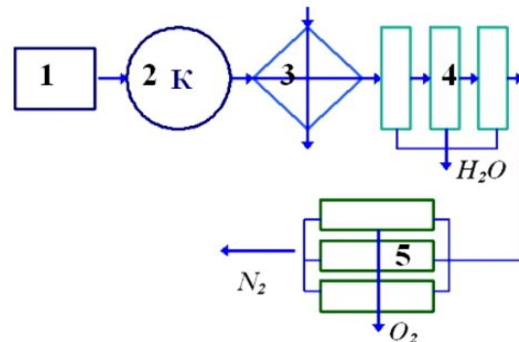


Рисунок 23 – Принципова схема станції АМГП-15/0,7 С У1: 1 – фільтр; 2 – компресор сухого стиснення; 3 – кінцевий повітроохолоджувач із підтриманням заданої температури; 4 – блок підготовки повітря; 5 – мембранний блок

При застосуванні маслозаповнених компресорів необхідно також урахувати таку важливу проблему, як утилізація конденсату стисненого повітря. Це дорогий процес, тому що конденсат на 97 % складається з води. Навіть застосування сепараторів з відділення масла від води гарантує залишковий вміст масла у воді близько 20 мг/м<sup>3</sup>. Застосування гвинтових компресорів сухого стиснення дозволяє простіше і якісніше вирішувати питання утилізації, що важливо при вирішенні проблем охорони довкілля.

У станції АМГП-15/0,7 С У1 застосований гвинтовий компресорний агрегат сухого стиснення, розроблений на базі гвинтового блока CD-26D виробництва фірми GHH-RAND. Принципова схема станції наведена на рис. 23.

Атмосферне повітря через фільтр (0,01 мкм) надходить на всмоктування двоступінчастого компресорного агрегата сухого стиснення. Стиснуте до 1,1 МПа повітря охолоджується в кінцевому повітроохолоджувачі до необхідної температури, після чого надходить у блок підготовки повітря. У блоці підготовки повітря очищається від механічних включень, а також осушується до температури точки роси 3 °С. Потім підготовлене повітря подається в мембранний блок, де відбувається його поділ на азот та інші компоненти (рис. 22).

Керування станцією автоматичне трирівневе: місцеве, дистанційне та віддалене. Характеристики системи віддаленого моніторингу включають одночасну роботу в реальному часі декількох користувачів із декількома пристроями; практичне накопичення необмеженого обсягу інформації; гнучку систему комунікацій і моніторингу; безпечно передавання даних (можливість шифрування); використання стандартних інфраструктур (GSM/GPRS, Internet, OPC); використання відкритих протоколів передавання даних (ModBus, TCP/IP, SMTP, FTP і т. п.); можливість роботи із пристроями сторонніх виробників.

При цьому рівень пристроїв дозволяє здійснювати моніторинг і керування пристроєм або групою пристроїв. Використовується контролер COMCONT-M з енергонезалежною пам'яттю, у якій накопичується інформація про аварії, події і дані, що може бути задіяна в режимі ретро. Зв'язок із контро-



лером здійснюється через інтерфейс стандарту RS232/RS485, протокол ModBusRTU.

Конструктивно станція складається з трьох модулів: компресорного агрегата, підготовки повітря і системи КІП і А, мембранного модуля. Станція успішно пройшла заводські випробування на підприємстві-виготовлювачі та приймальні випробування в замовника. Наприкінці 2003 р. станція АМГП-15/0,7 С У1 була застосована при гасінні пожежі на двох шахтах Донбасу (рис. 24). Оперативно доставлена на місце аварії станція успішно зарекомендувала себе в реальних умовах пожежогасіння, подавши в гірничу виробку (зону горіння) 62 000 м<sup>3</sup> азоту. За допомогою станції АМГП-15/0,7 С У1 пожежа була ліквідована впродовж 72 годин.

### 3. ВИСНОВКИ

Основним досягненням виконаних робіт є удосконалення та розроблення нових технологій для освоєння родовищ газоподібних, рідких та твердих вуглеводнів на базі компресорного обладнання нового покоління.

Завдяки освоєнню мембранних установок для промислового одержання азоту і належного компресорного обладнання вдалося інтенсифікувати добування вуглеводнів і значно підвищити безпечність виконання робіт у промислових умовах.

Вітчизняні компресорні установки та технології для видобування вуглеводнів широко випробувані в реальних умовах і відповідають світовому рівню.



Рисунок 24 – Робота дивізіону азотних пересувних станцій при гасінні пожежі на шахті ім. О. Ф. Засядька

### Development of compressor equipment for technologies of hydrocarbons extraction using nitrogen

G. V. Kirik<sup>1)</sup>, P. E. Zharkov<sup>2)</sup>, G. A. Bondarenko<sup>3)</sup>, B. A. Blyuss<sup>4)</sup>,  
V. G. Shevchenko<sup>5)</sup>, M. M. Lyakh<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> Concern "Nicmas", 6, Kursky Av., 40020, Sumy, Ukraine;

<sup>2)</sup> NVAT "VNDIkompresormash", 6, Kursky Av., 40020, Sumy, Ukraine;

<sup>3)</sup> Sumy State University, 2, Rymskogo-Korsakova Str., 40007, Sumy, Ukraine;

<sup>4), 5)</sup> Institute of Geotechnical Mechanics under the NAS of Ukraine, 2a, Simferopol Str., 320600, Dnipro, Ukraine;

<sup>6)</sup> Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, 15, Karpatska Str., 76019 Ivano-Frankivsk, Ukraine

This article provides an overview of the results of research and development work aimed at the development and implementation of technologies compressor using nitrogen to extract hydrocarbons. Nitrogen as the most affordable gas, is used as a neutral environment while performing a variety of works: gas injection into wells to stabilize the reservoir pressure in the development of oil and gas fields, gas condensate production, as well as the performance of repair work and testing of pipelines. A significant role is played by the use of nitrogen for extinguishing fires in coal mines. The implementation of these technologies requires the design and development of domestic production of the compressor equipment. The article gives some examples of developments of compressor stations based on screw and piston compressors, which meet modern requirements of efficiency, reliability, ergonomics and ecology, equipped with systems of control and regulation on the basis of controllers. The description and characteristics of the compressor equipment, and some results of the implementation compressors and technologies using nitrogen as a neutral environment.

**Keywords:** hydrocarbon production technologies, compressors, nitrogen stations.

## Разработка компрессорного оборудования для технологий добычи углеводородов с использованием азота

Г. В. Кирик<sup>1)</sup>, П. Е. Жарков<sup>2)</sup>, Г. А. Бондаренко<sup>3)</sup>, Б. А. Блюсс<sup>4)</sup>, В. Г. Шевченко<sup>5)</sup>, Н. Н. Лях<sup>6)</sup>

<sup>1)</sup> Концерн «Никмас», просп. Курский, 6, 40020, г. Сумы, Украина;

<sup>2)</sup> ННАО «ВНИИкомпрессормаш», просп. Курский, 6, 40020, г. Сумы, Украина;

<sup>3)</sup> Сумский государственный университет, ул. Римского-Корсакова, 2, 40007, г. Сумы, Украина;

<sup>4)</sup> Институт геотехнической механики НАН Украины,

ул. Симферопольская, 2а, 320600, г. Днепр, Украина;

<sup>5)</sup> Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа,

ул. Карпатская, 15, 76019, г. Ивано-Франковск, Украина

В статье приведен обзор итогов опытно-конструкторских работ, направленных на разработку и внедрение компрессорных технологий с использованием азота для добычи углеводородов. Азот как наиболее доступный газ используется в качестве нейтральной среды при выполнении различных работ: нагнетание газа в скважины для стабилизации пластового давления при разработке газонефтяных месторождений, добыча газового конденсата, а также при выполнении ремонтных работ и испытании газопроводов. Значительную роль играет использование азота для тушения пожаров в угольных шахтах. Реализация этих технологий требует разработки и освоения производства отечественного компрессорного оборудования. В статье приведены некоторые примеры разработок компрессорных станций на базе винтовых и поршневых компрессоров, которые соответствуют современным требованиям по эффективности, надежности, эргономичности и экологии, оборудованы системами контроля и регулирования на базе контроллеров. Приведено описание и характеристики компрессорного оборудования, а также некоторые результаты внедрения компрессоров и технологий с использованием азота, как нейтральной среды.

**Ключевые слова:** технологии добычи углеводородов, компрессорное оборудование, азотные станции.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Булат А. Ф. Научно-технические основы создания шахтных когенерационных энергетических комплексов / А. Ф. Булат, И. Ф. Чемерис. – Киев : Наукова думка, 2006. – 174 с.
2. Jariwala A. (MTR Inc.). Nitrogen – rejecting membranes to increase gas heating value and recover pipeline natural gas: a simple wellhead process approach, presented at IPEC Conference, Houston, TX, November 2005 [Electronic resource]. – Access mode : [www.mtrinc.com/publications/NG03%20IPEC2005%20Paper.pdf](http://www.mtrinc.com/publications/NG03%20IPEC2005%20Paper.pdf).
3. Бікман Є. С. Перспективи впровадження технології підтримання пластового тиску з використанням азоту на газоконденсатних родовищах НАК «Нафтогаз України» / Є. С. Бікман, В. В. Дячук // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2012. – № 2 (20). – С. 17–20.
4. Бікман Є. С. Оптимізація розробки газоконденсатних родовищ в умовах низьких робочих тисків / Є. С. Бікман, І. А. Медведєв, С. І. Серєда, К. С. Курочкін // Компрессорное и энергетическое машиностроение, 2011. – № 3 (25). – С. 34–36.
5. Жарков П. Е. Газовые компрессорные станции. Опыт разработки : монография / П. Е. Жарков, Г. А. Бондаренко, В. Н. Радзиевский. – Сумы : Университетская книга, 2015. – 285 с.
6. Бондаренко Г. А. Технологія використання стиснених газів / Г. А. Бондаренко, В. І. Мілованов, В. М. Ярошенко. – Одеса : Зовнішпрекламсервіс, 2015. – 449 с.
7. Применение азотных машин для обеспечения безопасной работы предприятий угольной и нефтегазовой отраслей / Г. В. Кирик, Ю. В. Бережной, А. Д. Станчик, А. Аламус // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2007. – № 1 (7). – С. 7–11.
8. Zennaro R. Oil Gas European Magazine. – Issue 2/7. – P. 88–91.
9. Смолянов С. Н. Использование азотных мембранных винтовых установок передвижных станций АМВП-15/0.7 С У1 при ликвидации сложных подземных аварий на угольных шахтах Украины / С. М. Смолянов // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2005. – № 1 (1). – С. 32–35.
10. Визначення ефективності застосування азотних мембранных установок для ліквідації пожеж / О. О. Сізіков, В. О. Чеповський, К. І. Соколенко та ін. // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2006. – № 2 (4). – С. 35–36.
1. Bulat, A. F., Chemeris, I. F. (2006). Nauczno-tehniczeskie osnovy sozdaniya sozdaniya kogeneratsyonnyh energeticheskikh kompleksov. *Kyiv, Naukova dumka* [in Russian].
2. Jariwala, A. (2005). Nitrogen – rejecting membranes to increase gas heating value and recover pipeline natural gas: a simple wellhead process approach. *IPEC Conference, Houston*, [Electronic resource]. – Access mode: [www.mtrinc.com/publications/NG03%20IPEC2005%20Paper.pdf](http://www.mtrinc.com/publications/NG03%20IPEC2005%20Paper.pdf).
3. Bikman, Ye. S., Dyachuk, V. V. (2012). Perspektivy vprovadzhennia tehnologii pidtrymannia plastovogo tysku z vykorystanniam azotu na gazokondensatnyh rodovyshchah NAK "Naftogaz Ukrainy". *Kompressornoye i energeticheskoye mashynostroenie*, 2 (20), 17–20 [in Ukrainian].
4. Bikman, Ye. S., Medvedev, I. A., Sereda, S. I., Kurochkin, K. S. (2011). Optimizatsiya rozrobky gazokondensatnyh rodovyshch v umovah nyzkyh robochych tyskv. *Kompressornoye i energeticheskoye mashynostroenie*, 3 (25), 34–36 [in Ukrainian].
5. Zharkov, P. E., Bondarenko, G. A., Radzиеvskiy, V. N. (2015). Gazovyye kompressornyye stantsyi. Opyt razrabotki. *Monography, Sumy, University book* [in Russian].
6. Bondarenko, G. A., Milovanov, V. I., Yaroshenko, V. M. (2015). *Technologiya vykorystannya stysnennyh gaziv. Odesa, Zovnishpreklamservis* [in Ukrainian].
7. Kirik, G. V., Berezhnoy, Yu. V., Stadnik, Alamus, A. (2007). Primeneniye azotnyh mashyn dlya obespecheniya bezopasnoy raboty predpriyatiy ugolnoy i neftegazovoy otrasley. *Kompressornoye i energeticheskoye mashynostroenie*, 1 (7), 7–11 [in Russian].
8. R. Zennaro, R. *Oil Gas European Magazine*, 2/7, 88–91.
9. Smolanov, S. N. (2005). Ispolzovaniye azotnyh membrannyh vintovyh ustanovok peredvizhnyh stantsyi AMVP – 15/0.7 SU1 pri likvidatsyi slozhnyh podzemnyh avariy na ugolnyh shahtah Ukrainy. *Kompressornoye i energeticheskoye mashynostroenie*, 1 (1), 32–35 [in Russian].
10. Sizikov, O. O., Chepovskiy, K. I., Sokolenko, K. I. et al. (2006). Vyznachenniya efektyvnosti zastosuvannya azotnyh membrannyh ustanovok dlya likvidatsiyi pozhezh. *Kompressornoye i energeticheskoye mashynostroenie*, 2 (4), 35–36 [in Ukrainian].

B