

# Техніка і технології

УДК 665.632 078

## ЧИННИКИ, ЩО ВИЗНАЧАЮТЬ ОСОБЛИВОСТІ ПІДГОТОВКИ ТА СТИСНЕННЯ ГАЗУ ПРИ РЕАЛІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ CNG

А. П. Джус

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727101,  
e-mail: andriy\_dzhus@i.ua

*Проведено аналіз чинників, що визначають особливості підготовки та стиснення газу при реалізації транспортної технології CNG. З міркувань енергоефективності технологічних процесів встановлено доцільність підготовки продукції свердловин шляхом низькотемпературної сепарації з використанням турбодетандерних агрегатів. Для забезпечення роботи компресорних установок з високим коефіцієнтом корисної дії необхідним є використання продукції високорозвинених західних виробників, які пропонують різні моделі компресорів, що мають широкий спектр регулювання тисків і продуктивностей шляхом підбору відповідних циліндрів.*

*З метою врахування особливостей реалізації окремого проекту та встановлення його оптимальних параметрів, необхідно розглядати комплекс обладнання для забезпечення підготовки і стиснення газу, як складну багаторівневу систему з великою кількістю внутрішніх і зовнішніх зв'язків. Це вимагає системного підходу під час її формування, а для раціонального вирішення розглянутої наукової задачі необхідною є побудова алгебраїчної математичної моделі.*

Ключові слова: транспортна технологія CNG, підготовка та стиснення газу, турбодетандерні агрегати, компресори

*Проведен анализ чинников, определяющих особенности подготовки и сжатия газа при реализации транспортной технологии CNG. Из соображений энергоэффективности технологических процессов установлена целесообразность подготовки продукции скважин путем низкотемпературной сепарации с использованием турбодетандерных агрегатов. Для обеспечения работы компрессорных установок с высоким коэффициентом полезного действия необходимо использование продукции высокоразвитых западных производителей, которые предлагают различные модели компрессоров, имеющих широкий диапазон регулировки давления и производительностей путем подбора соответствующих цилиндров.*

*С целью учета особенностей реализации отдельного проекта и установления его оптимальных параметров, необходимо рассматривать комплекс оборудования, предназначенного для подготовки и сжатия газа, как сложную многоуровневую систему с большим количеством внутренних и внешних связей. Это требует системного подхода при ее формировании, а для рационального решения рассматриваемой научной задачи необходимо построение алгебраической математической модели.*

Ключевые слова: транспортная технология CNG, подготовка и сжатие газа, турбодетандерные агрегаты, компрессоры

*Analysis of factors, that determine gas conditioning and compressing peculiarities when realizing CNG transportation technology, has been conducted. Appropriateness of well production conditioning by low temperature separation with the help of turbine expanders has been determined on the basis of technical processes energy efficiency. In order to operate compression units with high efficiency factor it is needed to utilize the products of highly developed western manufacturers suggesting different compressor models that have a wide range of pressure and performance settings by means of selecting the appropriate cylinders. In order to take into account the individual project realization peculiarities and to determine its optimal parameters it is needed to consider a complex of equipment for gas conditioning and compressing as a sophisticated multistage system with a lot of internal and external connections. It requires a systematic approach to its formation and there is a need to build an algebraic mathematical model for an efficient solution of the considered scientific problem.*

Key words: CNG transportation technology, gas conditioning and compressing, turbine expanders, compressors

## Вступ

Освоєння ресурсів нафти і газу шельфової зони та континентального схилу є актуальною проблемою, від вирішення якої залежить приріст запасів і зростання видобутку вуглеводнів Україною.

Акваторія Чорного моря, що належить Україні, є однією з найбільших нерозроблених зон світу, багатих на вуглеводні. Оскільки за своєю геологічною структурою даний район подібний до басейну Каспійського моря, що є основним регіоном із видобутку нафти й газу в світі, припускають, що Чорне море має аналогічний потенціал. Завдяки новітнім технологіям глибоководних досліджень Україна отримала можливість проводити розвідувальні роботи в зоні українського шельфу Чорного моря. Першим кроком у цьому напрямку стане детальне дослідження і розробка Прикерченської ділянки чорноморського шельфу.

### Аналіз літературних даних та постановка задачі

Ще наприкінці 1990-х – початку 2000-х років на шельфі Чорного моря відкрито ряд перспективних вуглеводневих родовищ [1]. Серед них нафтове родовище Субботіна, яке знаходиться в Прикерченській ділянці Чорного моря і планується до освоєння у найближчі роки. Також виявлено декілька високоперспективних структур, серед яких: Глибока, Південно-Керченська, Абіха, Палласа, Якірна, Морська, Личагіна, Союзна. Глибина моря на Прикерченській ділянці – у межах 30-500 метрів.

Як зазначалось в [2, 3] одним із шляхів, що дасть змогу прискорити введення в експлуатацію середніх і малих родовищ природного газу на континентальному шельфі та родовищ, розташованих у глибоководних зонах, є використання транспортної технології CNG. Доцільним буде застосування цієї технології і на нафтових родовищах, таких як Субботіна, де видобуватиметься незначна кількість попутного газу, що може накопичуватися за рахунок стиснення.

Згідно [1] особливості систем, що забезпечують реалізацію технології CNG, значною мірою визначаються специфікою конкретних проектів морського транспортування газу. Склад і параметри елементів систем залежатимуть, в першу чергу, від параметрів джерела постачання газу. В складі судна CNG, призначеного для приймання газу з офшорних родовищ, необхідно передбачити систему комплексної підготовки. На судні також повинна бути розміщена система компримування газу для забезпечення його подачі в ємності на борту. Для акваторії Чорного моря кращим є варіант використання спеціальних барж виробничо-транспортного типу, які пришвартовуються до зануреного прийомного буя типу STL (Submerged Turret Loading) або до видобувної платформи на шельфі. При цьому доцільно застосовувати два типи барж. Баржі першого типу комплектуються технологічним промисло-

вим обладнанням для очищення, осушення, стиснення та проміжного накопичування видобутого газу. Баржі другого типу використовуються безпосередньо для транспортування стисненого газу.

Що стосується барж другого типу, то, попередньо встановивши оптимальні їх параметри, вони можуть використовуватися за різних умов. Для окремого проекту необхідно встановити тільки потрібну їх кількість.

Баржі ж першого типу повинні містити технологічне промислове обладнання, параметри якого визначатимуться в основному наявним тиском газу, його кількістю та якісним складом. Для визначення оптимального способу підготовки та стиснення газу необхідно побудувати розрахункову математичну модель, яка враховує ряд чинників, що так чи інакше впливають на раціональність згаданих вище процесів та спорудження технологічних суден або барж загалом.

Серед цілої низки чинників, які мають певний вплив на раціональність процесів, що реалізуються на технологічних морських транспортних засобах, необхідно виділити найбільш вагомі, а саме технологічні та економічні. Таким чином, при проектуванні обладнання, для забезпечення підготовки і стиснення газу, необхідно розв'язати задачу оптимізації його складу, виходячи із умов економічної ефективності роботи всього комплексу.

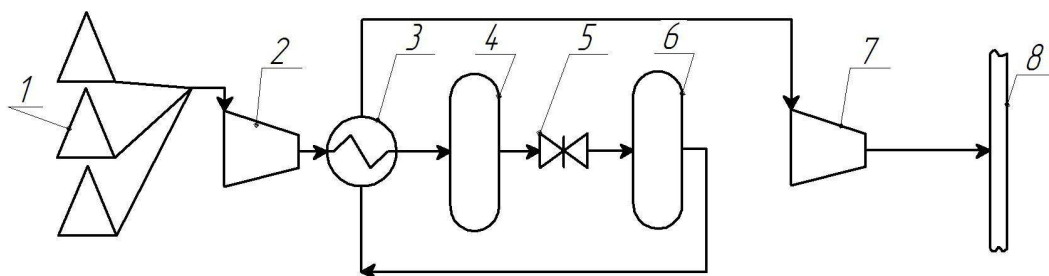
### Опис вирішення задачі

Необхідність забезпечення на технологічних морських транспортних засобах (ТМТЗ) двох окремих процесів, складність взаємозв'язку між окремими підсистемами, вплив зовнішніх чинників не дають можливості створювати абсолютно адекватні математичні моделі. Математична модель цілісного комплексу здатна охоплювати основні його закономірності, залишаючи осторонь другорядні чинники, вплив яких може призвести до наявності певних похибок. Для побудови оптимізаційної моделі необхідно встановити сукупність параметрів, що визначають функціонування ТМТЗ, встановити залежність між параметрами і характеристиками, сформулювати оптимізаційні критерії.

Функціонування і формування комплексу необхідно розглядати як два процеси: перший – підготовка продукції, другий – стиснення газу до необхідного тиску. При формуванні першого необхідно враховувати особливості другого і навпаки. Загалом процес, що реалізується на ТМТЗ, необхідно розглядати як послідовну зміну стану газу.

Для належного моделювання першого процесу необхідно попередньо провести аналіз особливостей його реалізації безпосередньо на промислах.

Газ з українських родовищ має високий вміст вологи та рідких фракцій. На численних пунктах первинної обробки газу, так званих УКПГ (установка комплексної підготовки газу),



1 – свердловина, 2 – компресор, 3 – теплообмінник, 4 – сепаратор першого ступеня, 5 – дросель, 6 – сепаратор другого ступеня, 7 – компресор, 8 – газопровід

**Рисунок 1 – Типова схема низькотемпературної сепарації з використанням дросель-ефекту**

виконується очищення та видалення конденсату з газу, що надходить з декількох свердловин. Для ефективного видалення вологи, конденсату та отримання також скрапленого вуглеводневого газу переважно використовується принцип низькотемпературної сепарації (НТС), який полягає в охолодженні газу до низьких температур (зазвичай  $-30^{\circ}\text{C}$ ). Типовим для УКПГ в Україні є використання НТС з дроселем, в якому газ розширюється та охолоджується за рахунок ефекту дроселювання (або ефекту Джоуля-Томсона) [4].

У випадках, коли тиск газу, що надходить з свердловин, на вході в УКПГ недостатній для отримання необхідної температури після дроселя, використовують допоміжне стиснення в компресорі. Також, якщо після дроселювання тиск газу недостатній для подачі його в газопровід, він додатково стискається в компресорі.

Схема НТС з дроселюванням газу набула широкого розповсюдження завдяки тому, що вона вкрай проста, не містить рухомих частин та має найвищу надійність. Її експлуатація не потребує значних зусиль та високої кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Однак відомо, що для функціонування систем із дроселюванням необхідно більший перепад тиску, у порівнянні з турбодетандерною установкою, для досягнення однакової температури.

Так як при дроселюванні енергія тиску газу не використовується, це стало мотивом поступової заміни існуючих систем дроселювання природного газу, в яких охолоджується газ для його сепарації, на більш енергоощадливу технологію з використанням турбодетандерів [5].

Збільшення ефективності підготовки природного газу на родовищах є можливим за рахунок підвищення технічного рівня облаштування промислів шляхом використання автоматизованих установок комплексної підготовки газу, що використовують турбодетандерні агрегати (ТДА). В установках підготовки газу, що використовують ТДА для охолодження газу, низькотемпературна сепарація, як правило, здійснюється без споживання енергії від зовнішніх джерел. Це – енергоефективний технологічний процес на відміну від альтернативних варіантів з дроселюванням.

Відомі також проекти, відповідно до яких застосовуються такі самі за принципом дії тур-

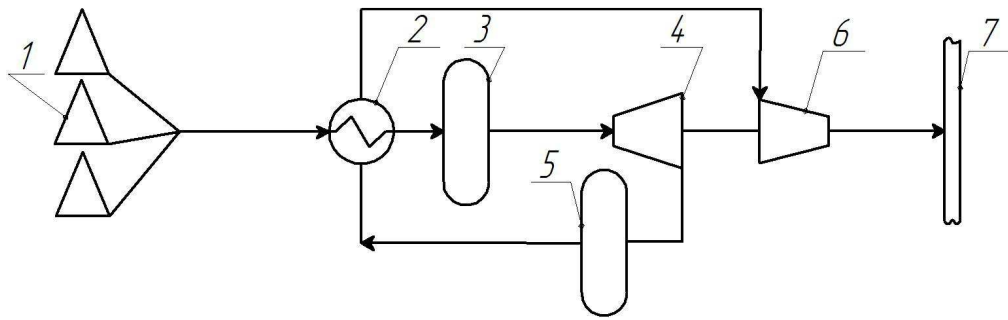
бодетандерні установки, але рекуперована енергія розширення газу в детандері використовується для приводу не електрогенератора, а газового компресора, який стискає газ після детандеру до вищого тиску для подачі його в газопровід.

Загалом на практиці схеми установок низькотемпературної сепарації можуть дещо відрізнятися між собою, однак принципи їх побудови є незмінними. Так, наприклад, Східно-Полтавська установка комплексної підготовки газу до 2009 року працювала за типовою схемою низькотемпературної сепарації з використанням дросель-ефекту (рис. 1). Відповідно до схеми газоводоконденсатна суміш (ГВКС) від свердловин Східно-Полтавського газоконденсатного родовища через вузол входу потрапляє в сепаратор першого ступеня. Після сепаратора газ надходить до міжтрубного простору рекуперативного теплообмінника, де охолоджується зворотнім потоком газу. Попередньо охолоджений газ направляється на дросель, де за рахунок перепаду тиску відбувається його охолодження до необхідної температури. В подальшому газ надходить в сепаратор другого ступеня, де з нього виділяється газовий конденсат та вологи, що сконденсувались в результаті охолодження. Очищений в сепараторі другого ступеня газ підігривається в трубному просторі теплообмінника, стискається в компресорі та через вузол заміру потрапляє в магістральний газопровід.

Рідинна фаза (нестабільний конденсат та пластова вода) з сепараторів першого та другого ступеня направляється в розділювачі рідини. Газ вивітрювання конденсату з розділювачів рідини надходить в сепаратор другого ступеня та сепаратор власних потреб. Вуглеводнева продукція (нестабільний конденсат), відокремлена від пластової води, подається в ємності збору конденсату або підпірну ємність для подальшого відвантаження насосами в конденсатопровід.

Впроваджена у 2009 році установка підготовки газу із турбодетандером аналогічна установці з дроселем, єдиною відмінністю є використання замість дроселя турбодетандерного агрегату (рис.1 і 2).

Впровадження турбодетандеру дає змогу отримувати необхідну низьку температуру газу (і відповідно якісно виділяти з газу вологу та



1 – свердловина, 2 – теплообмінник, 3 – сепаратор першого ступеня, 4 – турбодетандер, 5 – сепаратор другого ступеня, 6 – компресор, 7 – газопровід

Рисунок 2 – Схема низькотемпературної сепарації з використанням турбодетандеру

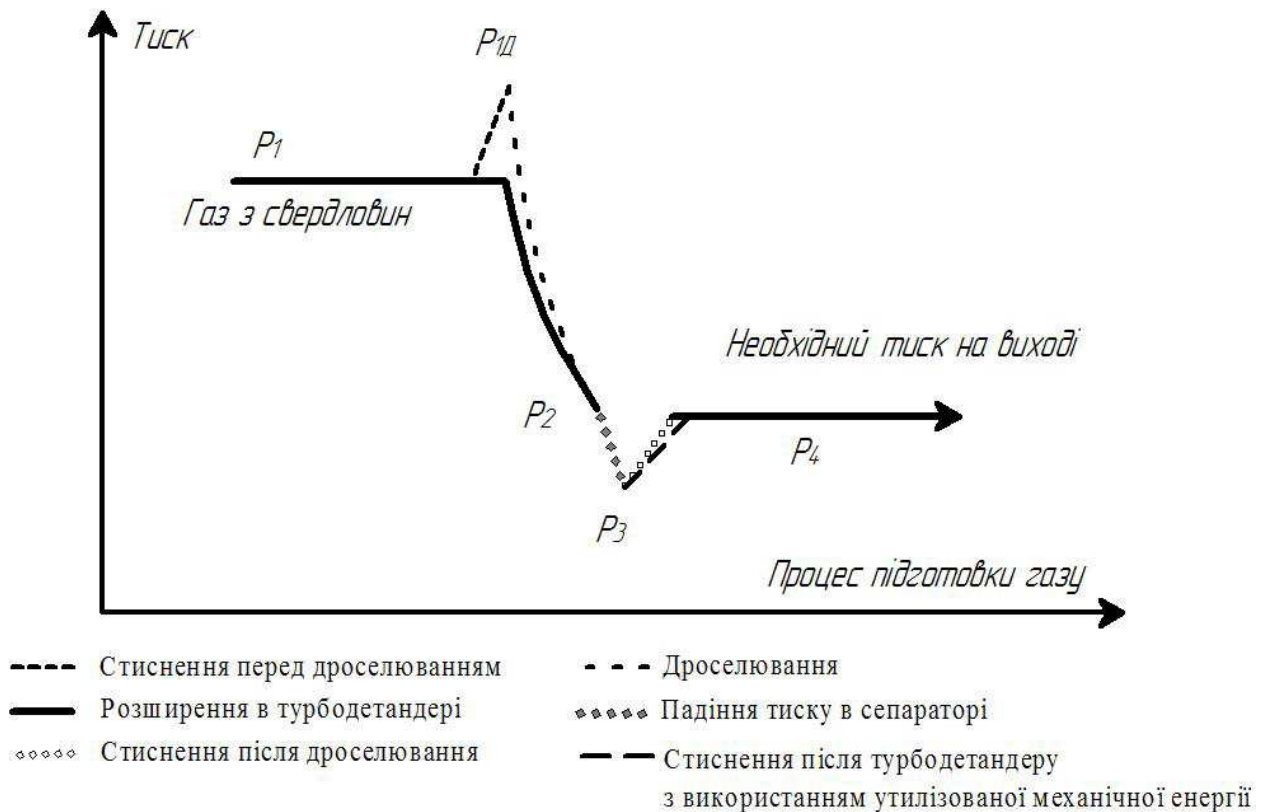


Рисунок 3 – Спрощена діаграма зміни тиску газу в процесі низькотемпературної сепарації на УКПГ шляхом дроселювання та з використанням турбодетандеру

конденсат), використовуючи менший перепад тиску, а також рекуперувати частку енергії газу, шляхом приведення в дію компресора.

Схематична діаграма тиску газу, що проходить через процес низькотемпературної сепарації на УКПГ для двох варіантів – дроселювання та використання турбодетандеру зображено нижче (рис. 3).

У першому варіанті використовується типова схема, в якій для низькотемпературної сепарації низька температура газу отримується шляхом його дроселювання. Для роботи дроселя потрібен високий початковий тиск  $P_{1д}$  на вході до нього, більший ніж є фактично на вході до турбодетандеру  $P_1$ . Це пов'язане з тим, що ефект Джоуля-Томсона, який реалізується з використанням дроселя, дає зниження температури газу на 4...6°C при перепаді тиску в 1 МПа,

тоді як ТД на цьому ж перепаді тиску знижує температуру на 10...12°C. Таким чином, в разі недостатнього фактичного тиску газу перед дроселем  $P_1$  потрібне дотискання газу компресором до тиску  $P_{1д}$ , що дасть змогу отримати необхідну низьку температуру після дроселювання. Тиск  $P_{1д}$ , необхідний перед дроселем, розраховується з використанням коефіцієнту Джоуля-Томсона, фактичних необхідних температури та тиску, що повинні мати місце після дроселя для кожної установки. Коефіцієнт Джоуля-Томсона, згідно його визначення, є показником відношення зміни температури газу до падіння його тиску. Для розрахунків коефіцієнту Джоуля-Томсона використовуються стандарти довідкові дані Національного Інституту Стандартів та Технології (США) [6] (Standard reference Data) для метану, параметри газу в

Таблиця 1 – Параметри турбодетандерних агрегатів в установках комплексної підготовки газу

| Тип агрегату       | Витрата газу, млн. м <sup>3</sup> /добу | Потужність на валу, кВт | Детандер              |                        |                      |                       | Компресор             |                        |
|--------------------|---|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
|                    |   |                         | P <sub>вх</sub> , МПа | P <sub>вих</sub> , МПа | T <sub>вх</sub> , °C | T <sub>вих</sub> , °C | P <sub>вх</sub> , МПа | P <sub>вих</sub> , МПа |
| МТДА–0,5–3,8–МП–У2 | 0,585–0,387                             | 124                     | 3,88                  | 2,9–3,2                | -23....-14           | -30                   | 2,79–3,0              | 3,15–3,3               |
| МТДА–0,5–4,0–МП–У2 | 0,49–0,31                               | 160                     | 4,2–4,1               | 2,55–2,45              | -5....5              | -30....-25            | 2,5–2,3               | 3,0                    |
| МТДА–0,6–4,5–МП–У2 | 0,62–0,38                               | 186                     | 4,5                   | 2,95                   | -10....-5            | -30....-25            | 2,8–2,7               | 3,5–3,4                |

кінці та на початку дроселювання. Температура на початку дроселювання відома, а тиск визначається шляхом ітерацій.

Щодо ТДА, то вони проектується під необхідні параметри, або вибираються із переліку пропонувані виробниками. На сьогодні провідним вітчизняним виробником ТДА є ПАТ "Турбогаз" м. Харків. Одним із основних напрямків роботи підприємства є розроблення та впровадження ТДА в установках підготовки природного газу. Ним розроблені і промислово випускаються ТДА продуктивністю від 0,5 до 40 млн. м<sup>3</sup>/добу при рівнях тисків до 20 МПа. Турбодетандерні агрегати розраховані на роботу в широкому діапазоні складу газу, в тому числі для роботи на попутному нафтовому газі та газі з високим вмістом крапельної рідини (до 5 г/м<sup>3</sup>) і механічних домішок (0,1 г/м<sup>3</sup>), а також з наявністю сірководню та вуглекислого газу.

Ще в 2009 році на УКПГ структурних підрозділів ГПУ "Полтавагазвидобування" введено в дію три ТДА: УКПГ "Східна-Полтава" – МТДА–0,5–3,8–МП–У2; УКПГ "Чутово" – МТДА–0,5–4,0–МП–У2; УКПГ "Абазівка" – МТДА–0,6–4,5–МП–У2. Основні параметри цих агрегатів наведені в таблиці 1[5].

З наведеної характеристики ТДА, які за параметрами є близькими до потенційно використовуваних в складі ТМТЗ, слід зауважити, що при пониженні тиску в детандері в границях 2 МПа, рівень його підвищення в компресорі становить близько 30%, тобто до 0,6 МПа. Таким чином, з використанням ТДА зниження температури газу на 25...30°C досягається шляхом втрати тиску близько 1,5 МПа, що у 3...4 рази менше у порівнянні із використанням дроселя.

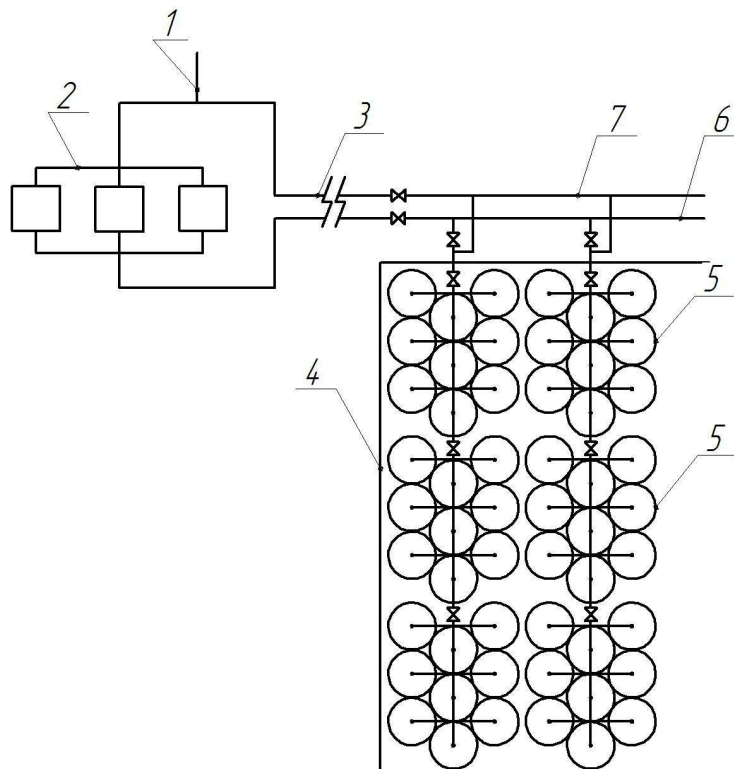
Другий етап процесу завантаження транспортних суден реалізується з використанням компресорів. При цьому компресори використовуються як при завантаженні транспортного судна газом джерела постачання, так і газом вантажної системи ТМТЗ. В окремих випадках виникає необхідність одночасної реалізації цих процесів. Параметри і кількість компресорних установок, якими комплектуватимуться ТМТЗ, повинні відповідати умовам розробки родовища, враховувати особливості підготовки продукції свердловин та можливість зміни кількості

газу, що підлягає транспортуванню. Наявність високих устьових тисків сприятиме зменшенню затрат на стиснення газу та можливості використання менш потужних компресорних установок. Загалом тип та параметри використовуваних компресорів визначатимуться параметрами процесу завантаження загалом та окремих етапів зокрема.

Якщо розглядати процес стиснення газу в компресорі у поєднанні із процесом заповнення ємності, то необхідно зазначити, що він супроводжується постійним збільшенням тиску в ємності і відповідно на виході компресора. Іншими словами можна сказати, що у міру наповнення ємності різниця між затраченою роботою компресорної установки і корисною роботою стиснення газу в ємності поступово зменшується. При чому, чим меншою буде ця різниця, тим більшою ефективністю характеризуватиметься процес стиснення газу в ємності до необхідного тиску.

За результатами патентного пошуку стосовно питань реалізації процесу заповнення вантажних систем транспортних засобів слід зауважити, що в більшості із джерел декларується принцип "почергового заповнення" ємностей вантажної системи [7, 8]. Для прикладу розглянемо схему наведену нижче [7].

Як показано на рисунку 4, природний газ подають у систему завантаження по трубопроводу 1 зазвичай під тиском від 3,5 МПа до 5 МПа. Частина газу може проходити безпосередньо через завантажувальний термінал до трубопроводу 7 для підняття тиску в невеликій кількості відсіків 5 від значення приблизно 1,4 МПа, яке є тиском "порожніх" відсіків, до тиску в трубопроводі. Потім ці відсіки підключають до трубопроводу 6, а невелика кількість інших порожніх відсіків під'єднують до трубопроводу 7. Значна частина газу з підвідного трубопроводу стискається до високого тиску за допомогою компресорного обладнання 2 системи завантаження. Стиснений газ подається через трубовідну систему 3 до трубопроводу 6 для подальшого накопичення стисненого природного газу на морському транспортному засобі 4. Таким чином, в приєднаних до цього трубопроводу відсіках 5 піднімають тиск до величини, близької до повного розрахункового тиску, наприклад до 19 МПа. Процес відкриття



1 – підвідний трубопровід, 2 – компресорне обладнання, 3 – трубопровідна система завантажувального терміналу, 4 – морський транспортний засіб, 5 – вантажні відсіки, 6 – трубопровід високого тиску, 7 – трубопровід низького тиску

**Рисунок 4 – Спрощена схема реалізації принципу "почергового заповнення" ємностей вантажної системи**

та підключення груп відсіків одного за іншим називається "почерговим заповненням".

У вище описаній згідно [7] системі транспортування стисненого природного газу обладнання для завантаження складається в основному з компресорних установок, що працюють з високим коефіцієнтом корисної дії. Цього досягається шляхом використання трубопроводів високого та низького тиску, що забезпечує можливість компресорам здійснювати корисну роботу шляхом стиснення газу з підвідного трубопроводу до повного розрахункового тиску в деяких відсіках, в той час як інші відсіки наповнюються з цього ж трубопроводу. Технологія відкриття відсіків по черзі групами розрахована за часом таким чином, що протитиск в компресорі постійно близький до оптимального тиску. Завдяки цьому зводиться до мінімуму необхідна потужність компресора і забезпечується максимальна ефективність процесу завантаження.

Однак, при низьких значеннях тиску у підвідному трубопроводі різниця між тиском "порожніх" відсіків і наявним тиском може бути незначною порівняно із необхідним його збільшенням для досягнення повного розрахункового тиску. При цьому зрозуміло, що протитиск в компресорі коливатиметься в доволі широкому діапазоні і, відповідно, знижуватиметься ефективність процесу завантаження. За таких умов доцільною є реалізація процесу стиснення газу від тиску в підвідному трубопроводі до повного розрахункового тиску в декілька ета-

пів. Для забезпечення стиснення хоча б у два етапи необхідно здійснити вибір обладнання з максимальним узгодженням його параметрів. З метою зменшення затрат на стиснення газу на першому етапі при оптимальному навантаженні повинні працювати більш потужні компресори з приводом від газового двигуна внутрішнього згорання. Можливі неузгодження в продуктивностях слід коректувати за рахунок введення в дію на другому етапі компресорів більшої продуктивності з приводом від електричного двигуна, що є більш придатними до частого періодичного введення в дію. Необхідним є також використання компресорів, що містять вузол регулювання їх продуктивності в певному діапазоні.

ТМТЗ повинен забезпечувати можливість проміжного накопичування видобутого газу. Зважаючи на це, невід'ємним його елементом є ємності з максимальним робочим тиском, близьким до повного розрахункового тиску. Їх наявність не тільки забезпечує можливість накопичення газу в період від'єднання та під'єднання транспортних засобів, а й сприяє узгодженню роботи компресорного обладнання, з допомогою якого реалізуються етапи стиснення газу.

Аналізуючи можливі варіанти забезпечення ТМТЗ компресорами з необхідними параметрами слід зазначити, що на сьогодні вітчизняне машинобудівництво здатне випускати відповідну техніку на рівні кращих світових зразків.

Спрямування замовлень щодо виготовлення газоперекачувальних агрегатів (ГПА) на вітчизняні підприємства сприятиме поживаленню економіки країни. Основним виробником газоперекачувальних агрегатів не тільки в Україні, але і на теренах колишнього СНД є ВАТ "Сумське НВО ім. М.В.Фрунзе". Ще влітку 2002 року на цьому підприємстві спільно з ВАТ "Первомайськдизельмаш" виготовлений та успішно пройшов випробування новий агрегат сучасного типу для компримування природного газу і подачі його до магістрального газопроводу ГПА-П-0.5/4-46С, який повинен започаткувати ряд ГПА невеликої потужності для газових родовищ з падаючим видобутком. Саме такі агрегати потрібні для забезпечення стиснення газу на першому етапі завантаження транспортних засобів. Газоперекачувальний агрегат ГПА-П-0.5/4-46С укомплектований компресором 4ГМ10-10/4-46С і газовим поршневым двигуном 6ГЧН-25/34-2 виробництва ВАТ "Первомайськдизельмаш". Компресор двоступеневий чотирициліндровий з горизонтальним розташуванням циліндрів, двигун - шестициліндровий з рядним розташуванням циліндрів. Двигун працює за схемою з попереднім змішуванням паливного газу і повітря в колекторі перед циліндрами з електронною системою запалювання і регулювання обертів. До складу агрегату входить система автоматичного керування [9].

Проаналізувавши світовий ринок компресоробудування, можна виділити основних виробників компресорів, які здатні забезпечити стиснення газу для його транспортування спеціальними ємностями:

- Пензкомпресормаш (Росія);
- Краснодарський компресорний завод (Росія);
- Артенерго (Росія);
- J.P.SAUER&SOHN (Німеччина);
- CompAir (Великобританія);
- Ajax (США);
- Ariel (США).

Найкращою альтернативою вітчизняним компресорам є продукція високорозвинених західних виробників. Корпорація Ariel – найбільший у світі виробник поршневих компресорів. Їхні компресори використовуються у світовій нафтогазовій промисловості і енергетиці для видобутку нафти і газу, переробки газу, транспорту, зберігання і розподілу природного газу від свердловини до кінцевого споживача. Компресори Ariel для нафтохімії і нафтопереробки розроблені відповідно до міжнародного стандарту API - 618. Будучи визнаним світовим лідером у своїй галузі, Корпорація Ariel задає стандарт в області конструювання і виробництва, передових наукових дослідженнях і розробках, а також надаючи неперевершену технічну підтримку.

Корпорацією випускається цілий ряд моделей компресорів, основними перевагами яких є [10]:

- високі ефективність і якість („світовий стандарт”);
- високі гарантійні обов’язки;

- надійна система сервісу, постачання запчастин (95% запчастин постачається упродовж 24 годин), навчання персоналу замовника, гарантійне і післягарантійне обслуговування та інше:

- помірна вартість як основного обладнання, так і запчастин;
- можливість швидкого постачання.

Коротку характеристику поршневих компресорів, що випускаються корпорацією Ariel наведено в таблиці 2 [10].

Для оцінки можливості використання окремих компресорів з метою реалізації процесу завантаження морських транспортних засобів наведемо приклади вже реалізованих на сьогодні проектів. Цікавими є проекти, що передбачають стиснення газу до максимально необхідного значення, а також до тиску, який є характерним першому етапу стиснення. Коротка характеристика таких проектів подана в таблиці 3 [9].

Аналізуючи подану інформацію, необхідно зауважити, що вже при середніх потужностях компресорів (див. табл. 2, серія JGT/4) забезпечується стиснення газу до максимально необхідного тиску, а продуктивність при цьому є достатньою для одночасного завантаження газу з трьох свердловин аналогічних нещодавно пробуреним на Одеському родовищі.

Загалом газоперекачувальні агрегати укомплектовані компресорами Ariel та газовими двигунами Caterpillar є високонадійними та найбільш поширеними в світі. Комплектування опозитних баз компресорів циліндрами з різними параметрами дає змогу оптимально підібрати обладнання для заданих умов експлуатації і тим самим мінімізувати затрати на завантаження транспортних засобів. Проаналізувавши існуючі варіанти, також слід зазначити, що загальна вартість будівництва компресорних станцій з імпортними блочними ГПА нижча, ніж при будівництві їх з вітчизняними агрегатами.

Загалом існує також ряд чинників, які закласти в математичну модель доволі складно. Проте вони можуть слугувати аргументами на користь окремих рішень або бути додатковим аналітичним матеріалом.

## Висновки

За результатами аналізу слід зазначити, що при проектуванні ТМТЗ вимоги щодо енергоефективності технологічних процесів будуть виноситись на перше місце. Таким чином, при виборі схеми підготовки продукції свердловин шляхом НТС використанню ТДА віддаватиметься перевага не зважаючи на зниження надійності системи в цілому. Що стосується особливостей реалізації процесу, то необхідним є узгодження із наявними початковими параметрами газу та наступним етапом, що полягає у стисненні газу до необхідного тиску.

Для реалізації процесу стиснення газу доцільним є використання компресорів високорозвинених західних виробників, якими пропону-

Таблиця 2 – Коротка характеристика поршневих компресорів Ariel

| Тип (серія) бази  | Назва бази (в знаменнику подано число рядів)<br>Номінальна потужність<br>Номінальна частота обертання |                                 |                                 |                                 |                                 |                                 |
|---|---|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
|   | <u>Серія KBV, KBV</u><br>Циліндри на тиск до 46,2 МПа (462 бар)                                       | KBV/4<br>4972 кВт<br>900 об/хв  | KBV/6<br>7427 кВт<br>900 об/хв  | KBV/4<br>4972 кВт<br>750 об/хв  | KBV/6<br>7427 кВт<br>750 об/хв  |                                 |
| <u>Серія KBZ, KBU</u><br>Циліндри на тиск до 53,8 МПа (538 бар) | KBZ/2<br>1939 кВт<br>1000 об/хв   | KBZ/4<br>3878 кВт<br>1000 об/хв | KBZ/6<br>5817 кВт<br>1000 об/хв | KBU/2<br>1939 кВт<br>1200 об/хв | KBU/4<br>3878 кВт<br>1200 об/хв | KBU/6<br>5817 кВт<br>1200 об/хв |
| <u>Серія JGC, JGD</u><br>Циліндри на тиск до 53,8 МПа (538 бар) | JGC/2<br>1544 кВт<br>1000 об/хв   | JGC/4<br>3087 кВт<br>1000 об/хв | JGC/6<br>4631 кВт<br>1000 об/хв | JGD/2<br>1544 кВт<br>1200 об/хв | JGD/4<br>3087 кВт<br>1200 об/хв | JGD/6<br>4631 кВт<br>1200 об/хв |
| <u>Серія JGK, JGT</u><br>Циліндри на тиск до 53,8 МПа (538 бар) | JGK/2<br>947 кВт<br>1200 об/хв  | JGK/4<br>1894 кВт<br>1200 об/хв | JGK/6<br>2841 кВт<br>1200 об/хв | JGT/2<br>969 кВт<br>1500 об/хв  | JGT/4<br>1939 кВт<br>1500 об/хв | JGT/6<br>2908 кВт<br>1500 об/хв |
| <u>Серія JGR, JGI</u><br>Циліндри на тиск до 42,1 МПа (421 бар) | JGR/2<br>321 кВт<br>1200 об/хв  | JGR/4<br>641 кВт<br>1200 об/хв  | JGI/2<br>462 кВт<br>1800 об/хв  | JGI/4<br>925 кВт<br>1800 об/хв  | JGI/6<br>1387 кВт<br>1800 об/хв |                                 |
| <u>Серія JG, JGA</u><br>Циліндри на тиск до 42,1 МПа (421 бар)  | JG/2<br>188 кВт<br>1500 об/хв   | JG/4<br>376 кВт<br>1500 об/хв   | JGA/2<br>209 кВт<br>1800 об/хв  | JGA/4<br>418 кВт<br>1800 об/хв  | JGA/6<br>626 кВт<br>1800 об/хв  |                                 |
| <u>Серія JGN, JGQ</u><br>Циліндри на тиск до 42,1 МПа (421 бар) | JGN/1<br>94 кВт<br>1500 об/хв   | JGN/2<br>188 кВт<br>1500 об/хв  | JGQ/1<br>104 кВт<br>1800 об/хв  | JGQ/2<br>209 кВт<br>1800 об/хв  |                                 |                                 |
| <u>Серія JGM, JGP</u><br>Циліндри на тиск до 42,1 МПа (421 бар) | JGM/1<br>63 кВт<br>1500 об/хв   | JGM/2<br>125 кВт<br>1500 об/хв  | JGP/1<br>63 кВт<br>1800 об/хв   | JGP/2<br>127 кВт<br>1800 об/хв  |                                 |                                 |

Таблиця 3 – Коротка характеристика проектів реалізованих з використанням компресорів Ariel

| Продуктивність, тис. м <sup>3</sup> /год | Витрата газу, млн. м <sup>3</sup> /добу | Тиск на вході, МПа | Тиск на виході, МПа | Потужність установки, МВт |
|--|---|--------------------|---------------------|---------------------------|
| 30                                       | 0,72                                    | 4,1                | 21                  | 2                         |
| 16                                       | 0,374                                   | 4,1                | 9,3                 | 0,63                      |
| 10                                       | 0,240                                   | 2,0                | 6,7                 | 0,71                      |

ється широкий ряд продукції, здатної забезпечити реалізацію проектів з довільними параметрами.

Загалом, комплекс обладнання для забезпечення підготовки і стиснення газу є складною багаторівневою системою з великою кількістю внутрішніх і зовнішніх зв'язків, що вимагає системного підходу при його формуванні.

Для раціонального вирішення розглянутої наукової задачі необхідною є побудова алгебраїчної математичної моделі, завдання якої полягає в виявленні оптимального способу підготовки, а також оптимізації елементів засобів компримування, що формулюється як екстремальні задачі математичного програмування.

### Література

1 Крижанівський Є. І. Техніко-економічні аспекти транспортування природного газу із морських родовищ / Є. І. Крижанівський,

О. Г. Дзьоба, А. П. Джус, Ю. В. Міронов // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2013. – № 2(35) – С. 7 – 15.

2 Джус А. П. Використання CNG технологій при освоєнні родовищ Чорного та Азовського морів / А. П. Джус // Нафтогазова енергетика 2013: матеріали міжнародної науково-технічної конференції, м. Івано-Франківськ, 7-11 жовтня 2013 р. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2013. – С. 128-131.

3 Пронин Е. Н. Морская транспортировка компримированного газа / Е. Н. Пронин, С. Е. Поденок // Информационный бюллетень. Национальная газомоторная ассоциация. – 2004. – № 1 (15). [Электронный ресурс]: Режим доступу: [http://www.ngvrus.ru/st15\\_4.shtml](http://www.ngvrus.ru/st15_4.shtml).

4 Joule-Thomson effect [Электронный ресурс]: Режим доступу: [http://en.wikipedia.org/wiki/Joule%E2%80%93Thomson\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Joule%E2%80%93Thomson_effect)



5 Низкотемпературные турбодетандерные агрегаты [Электронный ресурс]: Режим доступа: [http://turbogaz.com.ua/user\\_files/ntda\\_ru\\_2013.pdf](http://turbogaz.com.ua/user_files/ntda_ru_2013.pdf)

6 Стандартні довідкові дані Національного Інституту Стандартів та Технології. [Електронний ресурс]: Режим доступу: <http://webbook.nist.gov/chemistry/fluid/>

7 Пат. № 2145689 Российская федерация МПК F17C1/00, F17C5/00, F17C7/00 Судловая система для транспортировки сжатого газа / Стеннинг Дейвид Дж. (СА), Крэн Джеймс Э. (СА), патентообладатель Энрон Эл-Эн-Джи Дивелопмент Корп. (US), заявл. 28.10.1996, опубл. 20.02.2000.

8 Пат. № 2155696 Российская федерация МПК В63В25/14 Судловая система транспортировки газа / Стеннинг Дейвид Дж. (СА), Крэн Джеймс Э. (СА), патентообладатель Энрон Эл-Эн-Джи Дивелопмент Корп. (US), заявл. 26.09.1997, опубл. 10.09.2000.

9 Копей Б.В. Оптимізація проектів дотискних компресорних станцій / Б. В. Копей, Є. І. Крижанівський, Ю. О. Бобошко // Динаміка роторних систем і вібраційних процесів: Сборник трудов международной научно-технической конференции, 12-19 декабря 2004 г. – Хмельницкий: ХНУ, 2004. – С. 39-45.

10 ARIEL. Компрессоры мирового стандарта. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://ru.arielcorp.com/>

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
17.02.14*

*Рекомендована до друку  
професором **Копеєм Б.В.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
канд. техн. наук **Болонним В.Т.**  
(ДВНЗ «Дрогобицький коледж нафти і газу»,  
м. Дрогобич)*