

© Я.В. Грудз

д-р техн. наук
ІФНТУНГ

М.М. Якимів

ТзОВ «ДІПРОГАЗ»

Гідравлічна ефективність
складних газотранспортних систем

УДК 622.691.4

Наведено результати аналітичних досліджень гідравлічної ефективності складних газотранспортних систем, показано вплив внутрішньої енергії газового потоку на ефективність, запропоновано алгоритм розрахунку коефіцієнта гідравлічної ефективності для ділянок складних газотранспортних систем на основі аналізу нестационарних процесів.

Ключові слова: гідравлічна ефективність, складна газотранспортна система, нестационарний процес.

Приведены результаты аналитических исследований гидравлической эффективности сложных газотранспортных систем, показано влияние внутренней энергии газового потока на эффективность, предложено алгоритм расчета коэффициента гидравлической эффективности для участков сложных газотранспортных систем на основании анализа нестационарных процессов.

Ключевые слова: гидравлическая эффективность, сложная газотранспортная система, нестационарный процесс.

The analytical researches results of the complex gas transmission systems hydraulic efficiency are given. It is shown influence of the gas flow internal energy on the efficiency. Algorithm for calculating the hydraulic efficiency factor for complex gas transmission systems areas (sections) based on the analysis of the non-stationary processes are proposed.

Key words: hydraulic efficiency, complex gas transmission system, non-stationary process.

Гідравлічна ефективність характеризує зниження пропускної здатності газопроводу чи складної газотранспортної системи, викликане зростанням втрат енергії на трубопровідний транспорт газу понад їх розрахункову величину. Причинами збільшення втрат енергії під час експлуатації газопроводу є зростання гідравлічного опору рухові потоку газу в трубах унаслідок підвищення шорсткості внутрішньої поверхні труб чи виникнення наведеної шорсткості, а також появи місцевих опорів у вигляді рідинних пробок у понижених ділянках трубопроводу. За фіксованого перепаду тисків на початку і в кінці лінійної ділянки зростання гідравлічного опору призводить до зменшення пропускної здатності газопроводу чи системи. Джерелом надходження рідинної фази в газопровід є сам потік газу: при високих тисках і відповідних температурах газу в трубах досягається його точка роси по воді та важких вуглеводнях, що призводить до конденсації рідини. Зростання шорсткості внутрішньої поверхні стінок труб відбувається завдяки процесам внутрішньотрубно́ї корозії. Досвід експлуатації газопроводів показує, що основною причиною зниження пропускної здатності газопроводів є наявність у трубах рідинної фази. Для оцінки міри зниження пропускної здатності газопроводу в результаті зростання гідравлічного опору труб загальноприйнято використовувати коефіцієнт гідравлічної ефективності [1, 2].

Уперше поняття коефіцієнта ефективності газопроводу для оцінки міри його старіння з гідравлічної точки зору запропонував І.Є. Ходанович [1]. Теоретичні та ек-

периментальні засади розвитку гідравлічної ефективності наведено в працях С.А. Бобровського [2], З.Т. Галіулліна [3], В.Я. Грудза [4], Є.І. Яковлева [5] та інших дослідників, де описано методи розрахунку гідравлічної ефективності, зміни коефіцієнта в часі, аналіз причин його зниження і способи підвищення. Однак на сьогодні енергетичний підхід до проблеми відсутній.

Як відомо [4, 5], характер руху газу в трубах описується системою диференціальних рівнянь у часткових похідних, до якої входять рівняння руху, нерозривності, енергії:

$$\frac{\partial p}{\partial x} + \alpha W \frac{\partial(\rho W)}{\partial x} + \rho g \frac{dh}{dx} + \frac{\partial(\rho W)}{\partial t} + \frac{\lambda \rho W^2}{2d} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho W)}{\partial x} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0,$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -W \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{1}{T \rho \frac{\partial p}{\partial T} + \rho c_p} \left(\rho \frac{\partial W}{\partial x} \left(c_p T + \rho T \frac{\partial c_p}{\partial p} \right) + \xi \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial T}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \frac{\partial \xi}{\partial P} \frac{\partial T}{\partial x} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\pi D \alpha_1}{c_c r_c F_c} (T_c - T) - \frac{g W}{c_p} \frac{dh}{dx} \frac{\partial T_c}{\partial t} \right) =$$

$$= - \frac{\xi_c}{\rho_c c_c} \frac{\partial^2 T_c}{\partial x^2} + \frac{\pi D \alpha_2}{c_c \rho_c F_c} (T_{\text{нав}} - T) + \frac{\pi D \alpha_2}{c_c \rho_c F_c} (T - T_c).$$

Тут прийнято: c_p, c_c – ізобарна теплоємність газу та теплоємного матеріалу труб; $T_{\text{нав}}, T_c$ – температура навколишнього середовища і стінки трубопроводу; α_1, α_2 – коефіцієнти тепловіддачі від газу до стінки і від стінки в навколишнє середовище; D, d – зовнішній і внутрішній діаметри труби; ξ, ξ_c – коефіцієнти теплопровідності газу і стінки труби; F, F_c – площа перерізу трубопроводу і стінки;

$$\chi = \frac{\xi}{\rho c_p};$$

h – геодезична позначка траси газопроводу.

Рівняння енергії потоку газу відображає закон збереження енергії стосовно руху реального газу в трубопроводі. При цьому ліва частина рівняння містить члени, що враховують характер перетворення механічної енергії газового потоку у внутрішню енергію газу, а права частина – розсіювання внутрішньої енергії за рахунок теплообміну з довкіллям. Відношення останнього члена рівняння, який характеризує теплообмін із довкіллям, до першого члена, що характеризує процес перетворення механічної енергії в теплову, можна розглядати як основну характеристику термогазодинамічного процесу. Тому таке відношення може вважатися критерієм подібності процесів дисипації енергії. Запишемо вказане співвідношення у вигляді

$$\Lambda = \frac{\frac{\pi D \alpha_2}{c \rho F} (T_{\text{нав}} - T)}{\rho \frac{\partial W}{\partial x} (c_p T + \rho T \frac{\partial c_p}{\partial p})}. \quad (2)$$

Очевидно, що повний теплообмін із довкіллям повинен характеризуватися повним коефіцієнтом теплопередачі від газу до ґрунту, тому в (2) доцільно замінити коефіцієнт тепловіддачі від газу до стінки труби α_2 на коефіцієнт теплопередачі k .

Використовуючи правила приведення диференціальних операторів, із урахуванням рівняння газового стану на основі (2) матимемо

$$\Lambda = \frac{Dk(T_{\text{гр}} - T)}{\rho W c_p T x} = \frac{Dk(T_{\text{гр}} - T)\gamma RT}{p W c_p T x},$$

де γ – показник політропи термогазодинамічного процесу; R – газова стала.

Приймаючи характерний розмір системи x рівним зовнішньому діаметру газопроводу, лінійну швидкість газу – середньозваженої лінійній швидкості по перерізу труби, тиск і температуру – середнім значенням по довжині, одержимо:

$$\Lambda = \frac{k(T_{\text{гр}} - T)W}{p_{\text{ср}} c_p T_{\text{ср}}}. \quad (3)$$

У цій залежності швидкість розповсюдження хвилі тиску $c = \sqrt{\gamma RT}$ замінено характерною швидкістю газового потоку W .

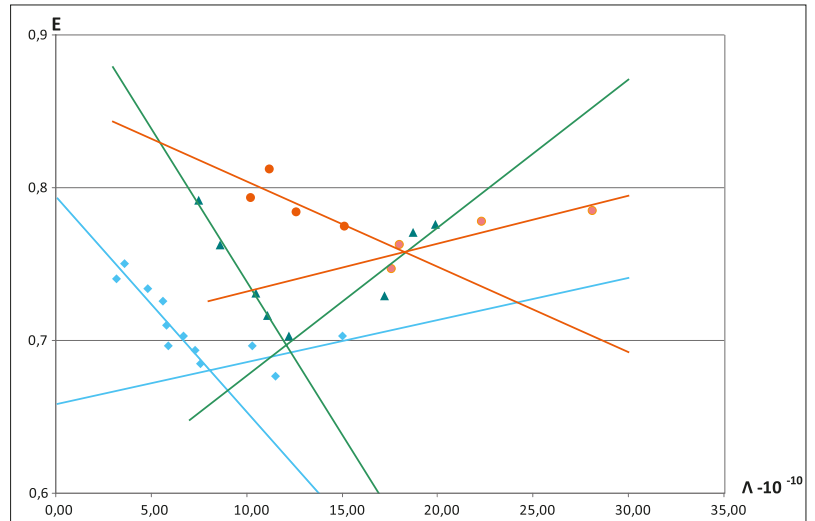


Рис. Залежність гідравлічної ефективності від критерію Λ : Δ – газопровід Уренгой-Помари-Ужгород; \times – газопровід «Союз»; \bullet – газопровід «Братерство»

Неважко помітити, що цей комплекс є безрозмірним, отриманим на основі класичного рівняння, яке відображає закон збереження і перетворення енергії, тому може вважатися критерієм подібності дисипації енергії в газових потоках.

Як відомо, повна енергія потоку газу складається з потенціальної, кінетичної та внутрішньої. На КС газовий потік одержує порцію потенціальної енергії, яка під час руху по лінійній ділянці перетворюється на кінетичну (лінійна швидкість газу зростає по довжині ділянки) і за рахунок роботи сил тертя переходить у внутрішню, зовнішню мірою якої є температура газу. Отже, температура газу повинна зростати по довжині лінійної ділянки. Однак за рахунок розширення газу (ефект Джоуля-Томпсона) і теплообміну з зовнішнім середовищем відбувається розсіювання енергії, яке призводить до безповоротних її втрат. Тому дослідження температурного режиму газопроводів мають велике значення в плані ефективності використання енергії в трубопроводному транспорті газу.

За результатами натурних вимірювань основних параметрів роботи газопроводу за період 2008–2010 рр. визначено коефіцієнти корисної дії газопроводів «Братерство» на ділянці Долина-Росош, «Союз» на ділянці Богородчани-Хуст і Уренгой-Помари-Ужгород на ділянці Богородчани-Голятин. Для тих же моментів часу обчислено значення наведеного вище безрозмірного комплексу Λ . Результати розрахунків приведено у вигляді графіків на рис. 1.

Величина коефіцієнта кореляції гідравлічної ефективності і безрозмірного комплексу Λ становила 0,85, що говорить про достатньо сильну залежність між вказаними параметрами. Як і можна було очікувати, зі збільшенням параметра Λ величина коефіцієнта ефективності знижується. Це відповідає фізичним уявленням про розсіювання енергії.

Проте починаючи із визначеної величини комплексу Λ , з його збільшенням коефіцієнт гідравлічної ефективності зростає. Цей факт має своє фізичне обґрунтування. Річ у тому, збільшення параметра відбувається за рахунок зрос-

тання лінійної швидкості газового потоку або за рахунок зниження середньої температури газу, що транспортується, або через зміну обох параметрів у комплексі. Збільшення лінійної швидкості газового потоку призводить до збільшення гідравлічних втрат у місцевих опорах, утворених пробками скупчень рідини, а отже, до зниження гідравлічної ефективності. Крім того, збільшення лінійної швидкості руху газу призводить до високої турбулізації потоку і появи так званої наведеної шорсткості (крапель рідкої фази на стінках труби). Однак, починаючи з деякої межі, зі збільшенням лінійної швидкості руху газу починається виносення рідини з газопроводу. Цей процес починається за лінійних швидкостей близько 17 м/с, що в реальних умовах не спостерігається.

Але, як показують досліді, за лінійних швидкостей, які перевищують 6–8 м/с, відбувається «вितिрання» внутрішньої поверхні стінки труби струменем газового потоку від наведеної шорсткості. Тому зі збільшенням швидкості понад 8 м/с коефіцієнт гідравлічної ефективності газопроводу зростає.

Коефіцієнт гідравлічної ефективності складної газотранспортної системи, що складається з кінцевого числа паралельних ниток із лупінгами і вставками, прийнято визначати відношенням пропускної здатності системи на даний момент експлуатації до її проектної (розрахункової) величини. У цьому плані розрахунки не викликають ніяких ускладнень. Проте в практиці експлуатації газотранспортних систем із метою оптимізації їх обслуговування потрібно визначити коефіцієнти гідравлічної ефективності не всієї системи в цілому, а кожної із паралельних ниток, що входять у систему, або ділянок цих ниток. У цьому випадку виникають ускладнення, оскільки витрата газу вимірюється на практиці сумарно по всіх нитках системи, а для визначення коефіцієнта ефективності на кожній із ниток необхідно знати його розподіл між паралельними нитками. Відомо, що в паралельних системах газопроводів витрата між нитками розподіляється обернено пропорційно їх фактичному гідравлічному опору. Отже, для оцінки розподілу витрати між нитками необхідно знати фактичні значення коефіцієнтів гідравлічного опору кожної нитки, що є кінцевою метою визначення ефективності. Таким чином, задача визначення коефіцієнтів гідравлічної ефективності паралельних систем газопроводів є фактично нерозв'язною. Необхідно мати додаткові умови, які давали б можливість оцінити розподіл витрати газу між паралельними нитками системи.

Аналізуючи рівняння стаціонарної течії газу в газопроводі шляхом нескладних перетворень, можна одержати залежності, що зв'язують коефіцієнт гідравлічної ефективності системи в цілому з коефіцієнтами гідравлічної ефективності окремих її ділянок. У разі паралельного з'єднання лінійних ділянок така залежність може бути подана у вигляді:

$$E_r = \frac{\sum_{i=1}^n E_i (d_i)^{0,5}}{\sum_{i=1}^n (d_i)^{0,5}}, \quad (4)$$

де $i = 1 \dots n$ – кількість паралельних ділянок різного діаметра d_i .

У разі послідовного з'єднання лінійних ділянок різного діаметра d_i і різної довжини L_i , коефіцієнт гідравлічної ефективності системи

$$E_s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{d_i^{5,2}}}{\sum_{i=1}^n \frac{L_i}{d_i^{5,2}} E_i^2}. \quad (5)$$

Формули (4) і (5) є рекурентними і допомагають визначити коефіцієнт гідравлічної ефективності довільної складної газотранспортної системи в умовах квазістаціонарного режиму, якщо відомо коефіцієнти гідравлічної ефективності кожної з її ділянок. Проте практично важливою є обернена задача: визначити коефіцієнти гідравлічної ефективності кожної з ділянок, якщо відомий коефіцієнт гідравлічної ефективності системи. Ця задача є не визначеною, оскільки з одного рівняння, що являє собою комбінацію (4) і (5), потрібно визначити стільки невідомих, скільки ділянок має система. Для усунення цієї невизначеності передбачається виконувати технологічні зміни системи транспортування газу шляхом відключення окремих ділянок і в цей період виконувати виміри, необхідні для розрахунків коефіцієнта гідравлічної ефективності системи. Якщо система складається з n лінійних ділянок, то необхідно виконати $n-1$ технологічних переключень. Проте нестационарність протікання газу по газопроводу буде виникати в моменти переключень, а це не дасть змоги визначити параметри для розрахунку коефіцієнтів гідравлічної ефективності E_{cj} системи на кожному технологічному переключенні. Тривалий період часу очікувати на встановлення нового стаціонарного режиму також недоцільно, тому що в процесі відключення деяких лінійних ділянок можливі перерозподіли рідини між ділянками, що залишилися в експлуатації, що призведе до зміни гідравлічної ефективності як окремих ділянок, так і системи загалом. Тому виміри параметрів режимів необхідно проводити в період перехідного процесу, а коефіцієнти гідравлічної ефективності системи на кожному технологічному переключенні визначати на основі нестационарних математичних моделей. Зазначене припущення може бути реалізовано, що дасть змогу одержати достовірні результати тільки в тому випадку, якщо співвідношення (4) і (5), а також заміна складної газотранспортної системи еквівалентним газопроводом справедливі за нестационарного режиму.

Для вирішення поставленого завдання виконувалося моделювання нестационарного процесу в системі газопроводів «Братерство», що являє собою двонитковий газопровід із перемичками. На першому етапі моделювання систему представляють у вигляді комбінованого з'єднання чотирьох лінійних ділянок, на кожній із яких коефіцієнт гідравлічної ефективності (а отже, коефіцієнт гідравлічного опору) мав своє певне значення. На другому етапі реальну систему заміняли еквівалентним газопроводом із діаметром d_e , а загальний коефіцієнт гідравлічної ефективності визначали на основі (4) і (5). На границях системи задавали функції зміни тиску і температури (на початку) і масової витрати (у кінці),

що відповідають змінам параметрів реального несталоного процесу в системі, викликаного відключенням ГПА на КС.

Для моделювання нестационарного неізотермічного процесу в системі газопроводів «Братерство» і еквівалентному газопроводі було розроблено методику реалізації математичної моделі процесу, що базується на системі рівнянь, які включають рівняння руху, нерозривності й енергії у вигляді (1).

У ході реалізації моделі для газотранспортної системи використано агрегативний метод побудови моделі. Технологічну схему траси газопроводу розбивали на ряд кусково-лінійних агрегатів (КЛА). Кожний КЛА являє собою ділянку простого газопроводу з постійними значеннями коефіцієнта гідравлічного опору, геометричного нахилу, обмежений точками підключення перемичок.

У середині кожного КЛА взаємозв'язок між технологічними параметрами потоку газу визначають за допомогою системи диференціальних рівнянь, що складається з рівнянь руху, нерозривності й енергії, що реалізується методом сіток із тимчасовим кроком h . З цієї метою будуються вузлові точки, у яких знаходяться значення тиску, температури і масової витрати. Якщо число вузлових точок по довжині газопроводу N_x , то стани агрегатів можуть бути представлені у вигляді:

$$Z = (v, Z_v),$$

де $v(t)$ – номер інтервалу часу довжиною h ,

$$Z_v = \{Z_{v1}, Z_{v2}, \dots, Z_{v4N+4}\},$$

де Z_{v1} – час, що залишився до закінчення інтервалу; $Z_{vi+1} = P_i$ – тиск у i -тому вузлі сітки ($i=1 \dots N_x$); $Z_{vi+N+1} = M_i$ – масова витрата в i -тому вузлі сітки; $Z_{vi+2N+1} = T_i$ – температура газу в i -тому вузлі сітки; $Z_{vi+3N+1} = T_{ci}$ – температура стінки трубопроводу в $i+N_x$ вузлі сітки.

Окрім того, для сполучення агрегатів необхідно знати параметри газу на початку наступного агрегату і розмір його розбивки по просторовій координаті. Якщо наступний агрегат має номер $j+1$, тоді для агрегату з номером j Z_{viN+2} – температура газу в другому вузлі $j+1$ агрегату; Z_{v4N+3} – температура стінки в N_x+2 вузлі $j+1$ агрегату; Z_{v4N+4} – крок інтегрування по довжині $j+1$ агрегату.

Під час моделювання нестационарного процесу в еквівалентному газопроводі також застосовувався агрегативний метод. У цьому випадку кожен КЛА характеризувався постійним геометричним нахилом газопроводу до горизонту. У гідравлічних розрахунках використовувалося поняття еквівалентного діаметра системи.

Аналіз результатів розрахунків показує, що використані математичні моделі адекватно описують реальний технологічний процес. Порівняно з фактичними параметрами і динамікою їх зміни в часі максимальна похибка у визначенні тиску математичної моделі, реалізованої для системи газопроводів, становить 3,1 %. Середні значення похибок в інтервалі часу всього перехідного процесу в цьому випадку ста-

новлять відповідно для тиску 0,4 %, для температури 0,5 % і масової витрати 1,4 %.

Із заміною реальної двониткової системи еквівалентним газопроводом максимальна похибка у визначенні тиску в динаміці його зміни становила 6,2 %, у визначенні температури – 3,5 %, масової витрати – 6,6 %. Середні значення за період нестационарного процесу розміру похибок у цьому випадку сягали: для тиску 0,8 %, температури – 0,64 %, масової витрати – 2,6 %.

Розбіжності між параметрами нестационарного процесу у випадку реалізації математичної моделі для реальної системи й еквівалентного газопроводу сягали відповідно: максимальні по тиску 3,1 %, температури – 1,5 %, масовій витраті – 3,2 %, середні по тиску – 0,35 %, по температурі – 0,28 %, по масовій витраті – 1,1 %. Окрім того, потрібно зазначити, що моделювання у вигляді реальної системи порівняно з еквівалентним газопроводом представляє більш швидку зміну параметрів у часі.

На підставі аналізу результатів розрахунків і похибок, викликаних заміною реальної системи еквівалентним газопроводом, можна зробити висновок про адекватність в обох випадках, а отже, про можливість використання співвідношень (4) і (5) для визначення коефіцієнтів гідравлічної ефективності складних газотранспортних систем як додаткових умов. Це дає змогу використовувати методику зміни технологічної схеми газотранспортної системи з метою проведення вимірів, необхідних для розрахунку коефіцієнтів гідравлічної ефективності окремих ділянок системи.

Визначені у такий спосіб коефіцієнти гідравлічного опору на різних ділянках системи приймаються як початкові наближення в нижче приведеному ітераційному алгоритмі.

1. Для кожної із технологічних схем, що відрізняються відключенням однієї з лінійних ділянок, будують розрахункові схеми і по приведеній вище методиці розраховують зміни в часі тиску, температури і витрати на межах системи.

2. Порівняння розрахункових показників із фактичними допомагає визначити максимальну похибку. Досвід показує, що найбільш ефективною для розрахунків є похибка по тиску.

3. Для однієї з ділянок системи коефіцієнт гідравлічного опору змінюють від початкового наближення у бік його збільшення з дискретним кроком. Після цього розрахунки характеру зміни параметрів на межах ділянки повторюють і визначають максимальну похибку порівняно з фактичними даними. Якщо при цьому максимальна похибка зменшується, то коефіцієнт гідравлічного опору обраної ділянки змінюють у тому ж напрямку і процедуру повторюють. Якщо ж максимальна похибка при цьому зростає, то розмір коефіцієнта гідравлічного опору змінюють на один крок у зворотній бік і процедуру повторюють.

4. Після досягнення мінімальної розбіжності розрахункових і фактичних даних вибирають значення ефек-

тивності наступної ділянки, для якої вся процедура повторюється.

5. Після закінчення розрахунків за всіма схемами повертаються до початкового, і процедура повторюється.

6. Ітерації повторюються доти, доки максимальні відхилення розрахункових і фактичних параметрів за всіма обраними схемами не досягають мінімуму, в результаті чого знаходять коефіцієнти гідравлічного опору, що відповідають мінімальним відхиленням розрахункових і фактичних параметрів.

Список літератури

1. **Ходанович І.Е.** Об эффективности продувки газопровода / И.Е. Ходанович // Газовая промышленность. – 1958. – № 3. – С. 24–25.
2. **Трубопроводный** транспорт газа / С.А. Бобровский, С.Г. Щербаков, Е.И. Яковлев [и др.]. – М.: Наука, 1976. – 491 с.
3. **Галиуллин З.Т.** Оценка влияния инерционных сил при нестационарном течении газа в магистральных газопроводах / З.Т. Галиуллин, И.Е. Ходанович, В.В. Девичев // Магистральные газопроводы. Труды ВНИИГАЗ. – 1975. – С. 132–139.
4. **Трубопроводный** транспорт газа / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків [та ін.]. – К.: АренаЕКО, 2002. – 600 с.
5. **Яковлев Е.И.** Анализ неустановившихся процессов в нитках магистрального газопровода статистическими методами / Е.И. Яковлев // Изв.вузов. Нефть и газ. – 1968. – № 2. – С. 72–76.

Автори статті



Грудз Ярослав Володимирович

Доктор технічних наук, доцент кафедри спорудження та ремонту газонафтопроводів і газонафтозахисних Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Науковий напрям – енергетична ефективність систем транспортування газу.

Якимів Микола Мирославович

Заступник директора ТзОВ «ДІПРОГАЗ». За фахом – інженер-механік. Спеціаліст із проектування і експлуатації газопроводів та газосховищ (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу), магістр з управління міжнародного бізнесу (Київський національний економічний університет ім. В. Гетьмана), бакалавр з фінансового консультування та управління ризиками (John Napier University, м. Единбург, Великобританія). Коло виробничих та наукових інтересів: розроблення проектної документації для забезпечення надійної експлуатації газотранспортної системи в цілому та України зокрема, гідравлічна та енергетична ефективності систем транспортування газу.



НОВИНИ

Росія та Сирія підписали угоду щодо розвідки на нафту і газ на морі

25 грудня 2013 р. у Дамаску підписано генеральну угоду між сирійською компанією General Petroleum Company та російською Союзнефтегаз щодо розвідки та видобування нафти і газу в сирійських водах Середземного моря терміном на 25 років. Дія контракту поширюється на території сирійського шельфу площею 845 кв миль між містами Тартус і Баняс, орієнтовна вартість проекту становить 90 млн дол. США.

Відповідно до контракту на першому етапі планується провести вивчення території та визначення оптимального місця закладання свердловин загальною вартістю 15 млн дол. США, на другому етапі – буріння принаймні однієї пошукової свердловини, яка коштуватиме понад 75 млн дол. США. У разі успіху Союзнефтегаз проводитиме подальше буріння та розробку родовищ. Російська компанія відповідальна за фінансування всіх стадій проекту, роботи почнуться зразу ж після ратифікації угоди.

<http://www.pennenergy.com/articles/pennenergy/2013/12/syria-russia-sign-first-offshore-oil>, 30.12.2013

Обладнання для проекту ЗПГ на Ямалі

Компанія GE Oil & Gas отримала замовлення на постачання турбохолодильного обладнання для проекту заводу зі зрідження природного газу (ЗПГ), який планується побудувати на Ямальському півострові в Сибіру. Його продуктивність становитиме 16,5 млн т на рік.

GE Oil & Gas поставить основне турбінне обладнання для трьох технологічних ліній заводу, кожна з яких матиме продуктивність 5,5 млн т на рік. Технологічна лінія складатиметься з двох основних холодильних установок, які перетворюватимуть природний газ на рідину для подальшого транспортування.

Pipeline & Gas Journal/November 2013, p.14