

© М.В. Гунда

Д.О. Єгер

д-р техн. наук

член-кореспондент НАН України

Ю.О. Зарубін

д-р техн. наук

П.М. Сміх

ТОВ «НВП «Центр нафтогазових ресурсів»

В.В. Гладун

д-р геол. наук

С.В. Касянчук

П.М. Чепіль

канд. геол. наук

Національна акціонерна компанія

«Нафтогаз України»

Розвиток технологій переробки природного газу в рідкі синтетичні палива та перспективи їх впровадження для розробки родовищ вуглеводнів

УДК 550.8:553.981]:[665.62/65:330.341.1

У статті розглянуто основні аспекти розвитку технологій переробки природного газу в синтетичні рідкі вуглеводневі продукти. Проведено аналіз найбільш перспективних міні-технологій переробки газу в рідкі продукти, які можна запроваджувати для ефективного освоєння ресурсів вуглеводнів. Сформовано основні напрями впровадження GTL-технологій у сфері геологічного вивчення та промислової розробки родовищ нафти і газу та нетрадиційних вуглеводнів в Україні.

Ключові слова: вуглеводні, газ, запаси, ресурси, родовища, GTL-технологія, переробка, блочно-модульні установки, потужність, синтетичні продукти.

В статье рассмотрены основные аспекты развития технологий переработки природного газа в жидкие синтетические углеводородные продукты. Проведен анализ наиболее перспективных мини-технологий переработки газа в жидкие продукты, которые могут внедряться для эффективного освоения ресурсов углеводородов. Сформулированы основные направления внедрения GTL-технологий в сфере геологического изучения и промышленной разработки месторождений нефти и газа и нетрадиционных ресурсов углеводородов в Украине.

Ключевые слова: углеводороды, газ, запасы, ресурсы, месторождения, GTL-технология, переработка, блочно-модульные установки, мощность, синтетические продукты.

The article deals with the basic aspects of progress of natural gas converting technologies into synthetic liquid hydrocarbon products. The most prospective mini-technologies of gas converting into liquid products that can be implemented for effective development of gas resources were analyzed. The principal directions of GTL-technology implementation in the area of geological study and commercial development of oil and gas fields and unconventional hydrocarbon resources were formed.

Key words: hydrocarbons, gas, reserves, resources, fields, GTL-technology, gas converting, packaged plant, power, synthetic products.

Зростання цін на нафту і газ зумовило вагомі технічні і технологічні досягнення в удосконаленні процесів переробки газу та інших вуглеводнів за рахунок нових матеріалів, нанотехнологій та сучасного обладнання. Попит нафтогазового ринку спонукав виробників не тільки більш ефективно використовувати наявні ресурси природного та нафтового газу, але і привів до освоєння незначних за запасами родовищ, які раніше вважалися малорентабельними або збитковими.

Незважаючи на значну кількість родовищ нафти і газу, відкритих в Україні, нафтогазовидобувні підприємства не можуть забезпечити необхідні для споживання в державі обсяги видобутку природного газу. Проблеми ефективного освоєння наявних газових ресурсів визначаються насамперед об'ємами розвіданих запасів. Між іншим, газові та га-

зоконденсатні родовища зі значними початковими запасами – виснажені, а більшу частину родовищ із розвіданими запасами до 1 млрд м³ газу розробляють достатньо низькими темпами через несприятливі економічні фактори. За останнє десятиліття значна кількість родовищ нафти і газу, відкритих Національною акціонерною компанією «Нафтогаз України», за початковими запасами належить до категорії дуже дрібних – в основному 0,2–1 млн т умовного палива. Промислова розробка родовищ із такими запасами із використанням традиційних систем збирання, підготовки та транспортування газу до споживачів є малорентабельною, а здебільшого – й зовсім збитковою.

Для вирішення проблем, пов'язаних із геологічним вивченням та подальшим промисловим освоєнням дуже дрібних за запасами газових родовищ, у тому числі нетра-

диційного газу, доцільно переходити на нові стратегії, що забезпечать динамічний розвиток та високу монетизацію газових ресурсів за рахунок запровадження інноваційних технологій. Зокрема, пріоритетом можуть бути малозатратні технології переробки видобутої на місці вуглеводневої сировини у готові високоліквідні продукти (синтетичні бензин, дизельне пальне, метанол тощо).

Сьогодні цей напрям інтенсивно розвивається. Зокрема, за останнє десятиліття розроблено промислові технології перетворення природного газу в більш важкі високоякісні вуглеводні або синтетичну нафту, які потім можуть бути додатково перероблені в різні види пального (газ у рідину (Gas-To-Liquids (GTL) [1]. Необхідно звернути увагу, що використання установок малої потужності (Mini-GTL) забезпечує ефективне та високо rentабельне освоєння дрібних та дуже дрібних газових родовищ, віддалених від газотранспортної інфраструктури збирання, підготовки та транспортування природного газу споживачам [2, 3].

GTL-технологія в основному використовує процес Фішера–Тропша, винайдений ще в 30-х роках минулого століття. Сировиною для процесу Фішера–Тропша можуть бути тверді речовини (вугілля), рідини (залишкові продукти НПЗ) або природний газ. Однак сьогодні GTL-технологія в основному асоціюється із конверсією природного газу та газів, багатих на метан, в результаті якої утворюється синтетична нафта, що практично не містить таких домішок, як сірка, ароматичні вуглеводні і метали. Конверсія відбувається через пряме перетворення або через утворення синтез-газу як проміжного продукту. За час існування технології (рис. 1) відбувалося декілька динамічних хвиль її розвитку, але найбільш інтенсивного зростання досягнуто з відкриттям у 90-х роках минулого століття нових матеріалів та нанотехнологій [4, 5].

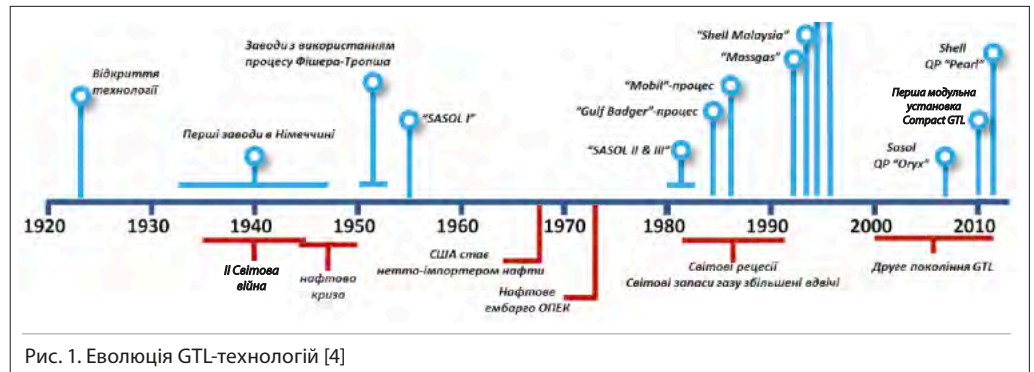
1922 року Франц Фішер і Ганс Тропш використали залізний каталізатор для перетворення CO і H₂ у суміш вуглеводнів і кисневмісних сполук.

1950–1990-ті рр.: південноафриканська компанія Sasol комерційно розвиває процес Фішера–Тропша (у поєднанні з газифікацією вугілля) для перетворення вугілля у вуглеводні – загальною ПВП 4 млн т/рік на трьох GTL заводах.

1980–2000-ті рр.: компанія Shell використовує процес Фішера–Тропша для перетворення природного газу на високоякісне пальне в Бінтулу, Малайзія.

2000–сьогодення: заводи нового покоління ORYX та Pearl у Катарі. Поява нових гравців у GTL-області (ExxonMobil, BP, ConocoPhillips), оголошено ряд нових проектів у Нігерії, Китаї та Латинській Америці. Поява перших модульних GTL-установок.

На цей час GTL-технологія отримала широку підтримку основних транснаціональних (BP, Chevron, ExxonMobil, Shell і Total) та менших видобувних і технологічних ком-



паній. За відносно короткий період із 2005 по 2012 рр. провідні компанії інвестували у наукові дослідження значні обсяги коштів, щоб побудувати GTL-заводи нового покоління на газових родовищах Катару. Також було оголошено про ряд інших комерційних проектів різних міжнародних консорціумів у Нігерії, Малайзії, Китаї, на Близькому Сході та в Латинській Америці.

На сьогодні чотири GTL-комплекси працюють для виробництва синтетичних рідких нафтопродуктів на більшому, ніж демонстраційний, рівні (табл. 1).

За останнє десятиріччя інтенсивно вводять в експлуатацію GTL-заводи по всьому світу, наприклад у Нігерії – Chevron, США – ExxonMobil, Conoco-Phillips, BP, Syntroleum разом із Marathon Oil [6–10].

На сьогодні близько десяти компаній розробили власні пілотні установки різних потужностей із переробки природного газу в рідкі нафтопродукти за GTL-технологіями, з яких понад 20 перебуває на різних етапах реалізації. На рис. 2 за даними [4] наведено GTL-заводи, які споруджено та проекти яких реалізуються.

Підтвердили свою зацікавленість GTL-технологіями компанії Російської Федерації – Роснефть, Лукойл, ТНК-ВР. Планується, що перша GTL-установка почне працювати в 2014 р. на Новокуйбишевському нафтопереробному заводі (Самарська область, РФ) [11].

Сучасне комерційне багатотоннажне виробництво на основі синтезу Фішера–Тропша, як правило, є капіталомістким та організованим довкола найбільших газових родовищ. Залучення у розробку малих газових родовищ або віддалених від транспортної інфраструктури можливе із застосуванням модульних міні-GTL-установок. Міні-GTL-технології є хорошим рішенням для утилізації супутнього газу, який часто не використовується через відсутність місцевого ринку і через це або закачується назад у пласт, або спалюється на факелі.

У сфері міні-GTL-технологій існують компанії, що пропонують блочні рішення GTL-установок та власні технологічні рішення, подібні до процесу Фішера–Тропша, які перебувають сьогодні на різних стадіях комерціалізації та націлені на широкий діапазон об'ємів переробки природного газу від 5 до 500 тис. м³/добу (див. табл. 2) [12, 13].

Компанія ContractGTL однією з перших запропонувала та ввела в експлуатацію тестову модульну GTL-установку на замовлення компанії Petrobras. Така установка дає змо-

гу для нафтових компаній вирішити проблему утилізації супутнього газу. CompactGTL продемонструвала повністю інтегрований GTL-завод невеликого масштабу з використанням власних реакторів парової конверсії метану та процесу Фішера–Тропша.

Модульні рішення CompactGTL дають змогу поєднати в собі дві стадії GTL-процесу в одну інтегровану систему, що забезпечує високий рівень компактності, безпеки і надійності. Реалізована в науково-дослідному центрі Petroleo Brasileiro S.A.'s CENPES компанії Petrobras GTL-установка успішно переробляє на добу 5 600 м³ нафтового газу в 3,2 м³ синтетичної нафти, яка змішується з сировою нафтою, усуваючи необхідність організації додаткової газової інфраструктури та доступу до газопроводів [14].

Інший напрям GTL-технологій розвиває компанія Velocys, що базується на мікроканалних реакторах GTL-процесу, які мають значно менші розміри порівняно зі звичайними реакторами та покращені продуктивні характеристики [15]. Пристрої, що використовують мікроканалну технологію, можуть бути зменшені в 10 і більше разів порівняно зі звичайним обладнанням.

Однією із перших стадій комерціалізації досягла GTL-технологія, розроблена компанією GasTechno. У кінці 2012 року компанія підписала угоди про тестування цієї технології з представниками TNK-BP в РФ та Бразилії. GasTechno завершила виготовлення пересувної міні-GTL і планує мобілізувати її в РФ з метою тестування на одній із запропонованих замовником свердловин [16].

Розроблена компанією GasTechno міні-GTL-технологія призначена для переробки в невеликому масштабі природ-

Існуючі комерційні GTL-проекти у світі

Таблиця 1

Назва, розташування	Власник	Рік введення в експлуатацію	Потужність виробництва рідких нафтопродуктів, тис. м ³ /добу
Завод у Моссел Бей, ПАР	Petro SA (колишня Mossagas)	1991	3,58
Завод середніх дистиллятів у Бінтулу, Малайзія	Shell	1993	2,34
Завод ORYX у Рас Лафані, Катар	Sasol, Qatar Petroleum	2007	5,41
Завод Pearl у Рас Лафані, Катар	Shell	2011	22,26

ного газу, біогазу, метану вугільних пластів тощо на такі цінні рідкі продукти, як метанол й етанол. Застосування цієї технології забезпечує просте і недороге вирішення проблеми супутнього газу та рентабельну розробку малих газових родовищ. Номінальна потужність переробки газу міні-GTL-установки 5600 м³/добу, однак вона може змінюватися у діапазоні 3500–8500 м³/добу [16].

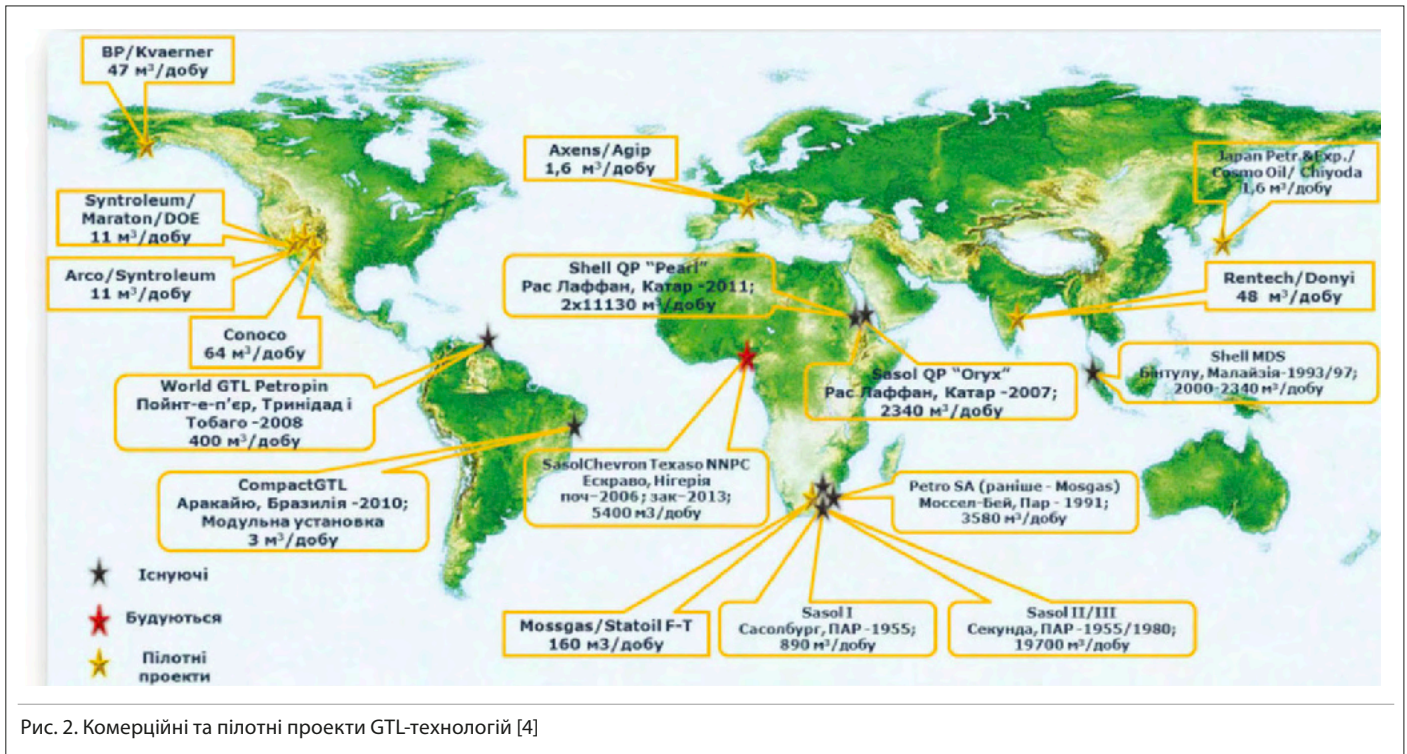
Технологія GasTechno перетворює природний газ на метанол в один простий крок, використовуючи запатентований і перевірений процес парціального окислення. При цьому немає необхідності в попередній підготовці газу, каталізаторах та складних технологічних ступенях переробки.

Міні-GTL-завод у разі необхідності може бути змасштабований до рівня потужності переробки газу у

Таблиця 2

Основні параметри розроблених міні-GTL-установок

Компанія	Країна	Технологія	Проміжний продукт	Об'єм переробки газу, тис. м ³ /добу	Кінцевий продукт	Вихід продукту з 1 м ³ газу	Промислове впровадження
Verdis	ОАЕ	GTL Фішера–Тропша	синтез-газ	< 30	дизельне пальне та ін.	0,28 л	ні
1st Resource Group	США	GTL Фішера–Тропша	синтез-газ	20–500	дизельне пальне та ін.	–	ні
Oberon Fuels	США	GTM	синтез-газ	20–300	метанол і його похідні	–	ні
R3 Sciences	США	GTM	синтез-газ	20–300	метанол і його похідні	–	ні
General Methanol	США	Парціальне окислення	–	20–300	метанол і формальдегід	–	ні
Carbon Sciences	США	GTM, MTG	синтез-газ	30–500	дизельне пальне та ін.	0,74 л	ні
Gas Techno	США	Парціальне окислення	–	20–500	метанол і формальдегід	1,2 л	так
Methion	США	Сульфування метану	CH ₃ SO ₃ H, метан-сульфо-кислота	20–300	ДМЕ	1,47 л	ні
Velocys (Oxford Catalysts)	США (Англія)	GTL Фішера–Тропша	синтез-газ	30–500	дизельне пальне та ін.	0,3 л	так
CompactGTL	Англія	GTL Фішера–Тропша	синтез-газ	30–500	дизельне пальне та ін.	0,57 л	так
GRT	США	Оксибромінація	CH ₃ Br	> 300	бензин	–	ні
Synfuels	США	Піроліз	ацетилен	> 300	бензин	–	ні
Ренфорс-Нові Технології	Росія	GTL Фішера-Тропша	синтез-газ	55–140	синтетична нафта та синтетичне рідке паливо	0,5 кг	ні
Група компаній Бінар Ко	Росія	GTL Фішера–Тропша	синтез-газ	5–125	синтетичне рідке паливо, метанол	0,37 кг	ні
Енергосинтоп-Інжиніринг	Росія	GTM, MTG	синтез-газ	10	метанол, бензин	–	ні



25 тис. м³/добу. Із використанням міні-GTL-установки на виході отримуємо суміш рідких спиртів, яку в подальшому можна доводити до кінцевого продукту на відповідних місцевих чи регіональних потужностях. Хоча економічні фактори є позитивними навіть за таких невеликих потужностей, наявність центрального об'єкта для переробки є необхідною для остаточного розділення GTL-суміші в готові продукти. Сама міні-GTL-установка працює в автономному режимі, потребує мінімального прямого спостереження і може управлятися і контролюватися віддалено. Зі зростанням потужності переробки газу до 140 тис. м³/добу економічні показники значно покращуються.

На території РФ існує декілька компаній, які активно займаються розвитком модульних GTL-технологій із потужністю переробки газу від 2 тис. м³/добу. Їх розробки перебувають на стадії дослідного тестування, а запропоновані проекти – на стадії пошуку інвесторів. Зокрема, ЗАТ «Ренфорс-Нові Технології» та ТОВ «Група компаній Бінар Ко» пропонує випуск блочно-модульних GTL-комплексів із переробкою газу в синтетичну нафту [17]. ТОВ «Енергосинтоп-Інжиніринг» пропонує GTL-установку з виробництва метанолу і високооктанових компонентів моторних палив (бензину) [18].

За результатами досліджень на період 2012–2020 рр. прогнозується зростання світового виробництва продуктів GTL до рівня 65–130 тис. м³/добу [19, 20].

За прогнозами EIA (Energy Information Administration), значний приріст продукції синтезу Фішера–Тропша буде відбуватися за рахунок використання не природного газу, а синтез-газу від газифікації вугілля (Coal-To-Liquids (CTL)). Враховуючи річне зростання на 1,9–3 % споживання середніх дистилатів у світі,

спільний вклад технологій GTL та CTL у забезпечення прогнозного споживання за оптимістичним сценарієм у 2030 році становитиме 9 % [20].

За прогнозами аналітиків, майбутні GTL-проекти будуть розвиватися за трьома основними схемами:

- будівництво середніх і великих GTL-заводів у віддалених регіонах із декількома споживачами газу і високими транспортними витратами;
- спорудження невеликих GTL-заводів на платформах, баржах чи спеціальних суднах для шельфових родовищ, де транспортування газу є ускладненим і заборонено спалювання газу на факелі;
- використання пересувних або модульних GTL-установок для прискореного введення в експлуатацію невеликих родовищ вуглеводнів та ефективного використання природного та нафтового газу у процесах розвідування та дослідно-промислової експлуатації.

За даними [21, 22], у період 2015–2020 рр., за прогнозами, більше як 2 % від світового споживання природного газу припадає на частку GTL-технологій, а також відбудеться швидке зростання виробництва дизельного пального, що становить близько 2 млн м³/добу. Прогнозна виробнича потужність заводів GTL до 2020 року зросте до 46,4 млн м³/рік рідких вуглеводнів. Якщо вихід дизельної фракції буде на рівні 70 %, то це сягатиме не менш як 3 % світового ринку дизельного палива [21].

Отже, GTL-технології дають змогу використовувати природний газ, супутній газ, біогаз, метан вугільних пластів та інші метановмісні гази для отримання моторних палив і продуктів основного органічного синтезу, тим самим відкриваючи напрями комерційного освоєння вуглеводневих ресурсів.

Для нафтогазовидобувних компаній відкривається можливість широкого використання міні-GTL-технологій для:

- прискореного геологічного вивчення та введення в розробку дрібних і дуже дрібних родовищ нафти і газу та нетрадиційних ресурсів вуглеводнів;
- комерціалізації та випереджувачого введення в експлуатацію пошукових і розвідувальних свердловин у районах із відсутньою газотранспортною інфраструктурою та/або в складних умовах її спорудження (заповідники, гірська місцевість, густозаселені райони та ін.);
- збільшення рівнів видобутку газу на виснажених газових родовищах із низькодебітними свердловинами та обмеженим газоспоживанням;
- удосконалення процесів підготовки та переробки газу за рахунок збільшення коефіцієнта утилізації низько-напірного та факельного газів, а також зменшення викидів парникових газів.

Перехід нафтогазовидобувних компаній на інноваційні GTL-технології допоможе постачати на ринок високоліквідні та більш екологічні синтетичні продукти переробки, що сприятиме збільшенню інвестицій в освоєння родовищ вуглеводнів України.

Список літератури

1. **Карп І.М.** Стан та перспективи розвитку нафтогазового комплексу України / Карп І.М., Єгер Д.О., Зарубін Ю.О. [та ін.]. – К.: Наукова думка, 2006. – С. 127–130.
2. **CompactGTL plc.** Enabling Oilfield Development. – Режим доступу: www.compactgtl.com.
3. **Iain Baxter.** Small-scale GTL: back on the agenda. World Gas, 2012. P. 84–85. – Режим доступу: www.petroleum-economist.com.
4. **Genovese N.A.** GTL technology and its role in the world energy markets / Genovese N.A., Gorlani A., Andrés H., Arroyo P. // Eni Corporate University–Scuola Mattei, 2005.
5. **Певзнер Р.Л.** Е.И. Орлов и его роль в отечественной науке / Р.Л. Певзнер // «Огнеупоры». – 1950. – № 5.
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Escravos_GTL.
7. **Robertson E.P.** Options for gas-to-liquids technology in Alaska / Robertson E.P. // Idaho National Engineering and Environmental Laboratory. – 1999, December.
8. **ConocoPhillips** sells gas demonstration plant in Ponca City // NewsOK. – 2008, December 20.
9. **BP** to close Nikiski GTL demo plant by year end // Petroleum News Bulletin 2009, September 02., Vol. 15, No. 66.
10. **Syntroleum** and Marathon Oil agree license terms for Qatar GTL project // Gas Matters. – 2004, June.
11. «Роснефть» переработает газ в синтетическую нефть. – Режим доступу: <http://www.rbcdaily.ru>.
12. **T. Fleisch.** Small Scale Gas Monetization via miniGTL Options // The Global Methane Initiative Oil and Gas Sub-committee Meeting Westin Denver Downtown, Denver, Colorado, April 12, 2012.
13. **Small Scale Gas Monetization via miniGTL Options.** Dr. Theo H Fleisch. Commissioned by World Bank. Global Gas Flaring Reduction (GGFR) Partnership. 2012.
14. <http://www.compactgtl.com/about/petrobras-commercial-demonstration-plant/>.
15. **Tonkovich A.L.,** Kai Jarosch, Sean Fitzgerald, Bin Yang, David Kilanowski, Jeff McDaniel, Tad Dritz: Microchannel Gas-to-Liquids for Monetizing Associated and Stranded Gas Reserves. Velocys, Inc., 7950 Corporate Blvd., Plain City, Ohio 43064, USA, 2011. – Режим доступу: <http://www.velocys.com>.
16. <http://www.gastechno.com/pdf/GasTechno-Mini-GTL-Data-Sheet.pdf>.
17. <http://synfuelenergy.com/synfuel>.
18. http://binarko.ru/files/Synthezin_miniGTL_Rus.pdf.
19. **Rahmin I. I.** Stranded gas, diesel needs push GTL work // Oil and Gas Journal, 2005, March 14, p. 18.
20. **Rahmin I. I.** GTL, CTL finding roles in global energy supply // Oil and Gas Journal, 2008, March 24, p. 28.
21. **Rahmin I. I.** Stranded gas, diesel needs push GTL work // Oil and Gas Journal, 2005, V. 103, № 10, p. 2–8.
22. **Special report:** news from the euroforum gtl conference in Paris. Gas-to-Liquids News, 2003, v. 6, № 12, p. 2.

НОВІ КНИГИ



2013 р. у видавництві «Світ успіху» вийшла книга Б.П. Савківа і С.О. Пінчука «Створення та експлуатація підземних сховищ газу», яка є своєрідним продовженням попередньої праці Б.П. Савківа «Підземне зберігання газу в Україні». У книзі висвітлено питання, пов'язані з експлуатацією підземних газосховищ, зокрема такі, як конструкції, підземне і наземне обладнання свердловин, їх капітальний ремонт та методи підвищення продуктивності. Придлено увагу особливостям створення та експлуатації підземних сховищ газу в різних геологічних умовах, регулюванню технологічних процесів нагнітання та відбирання газу, питанням запровадження ресурсо- та енергоощадних технологій, а також тенденціям світового розвитку підземного зберігання газу.