

Міністерство освіти і науки України

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут нафти і газу  
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій  
Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології

До захисту  
завідувач кафедри  
В.о. рибникова І.А.  
Гавриш І.В.

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**на тему** Дослідження процесів гідратоутворення в газових свердловинах і промислових газопроводах і методів боротьби з гідратами

**Пояснювальна записка**

**Керівник**

к.т.н., доц. Педченко Л.О.  
посада, наук. ступінь, ПІБ

[підпис]

підпис, дата

**Виконавець роботи**

Осіпенко Анатолій Володимирович  
студент, ПІБ

група 602-МВ

[підпис]

підпис, дата

**Консультант за 1 розділом**

к.т.н., доц. Педченко Л.О.

[підпис]

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

**Консультант за 2 розділом**

к.т.н., доц. Местеричко Г.М.

[підпис]

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

**Консультант за 3 розділом**

к.т.н., доц. Курішова С.

[підпис]

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

**Консультант за 4 розділом**

к.т.н., доц. Федченко М.М.

[підпис]

посада, наук. ступінь, ПІБ, підпис

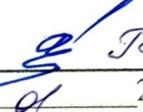
Дата захисту 21.01.25

Полтава, 2024

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
( повне найменування вищого навчального закладу )

Навчально-науковий інститут нафти і газу  
Кафедра нафтогазової інженерії та технологій  
Освітньо-кваліфікаційний рівень: Магістр  
Спеціальність 185 Нафтогазова інженерія та технології  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

  
"17" 01 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Осіпенко Анатолій Володимирович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Аналіз і перспективи застосування в Україні інгібіторів гідратоутворення кінетичної дії, як альтернативи метанолу

Керівник проекту (роботи) к.т.н., доц. Педченко Л.О.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навч. закладу від "09" 08 2024 року № 818-ф.а 2.

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15. 01. 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) 1. Науково-технічна література 2. Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование в газовой промышленности / Э.Б. Бухгалтер. – М.: Недра, 1986. – 238 с. 3. Sloan E. D. Clathrate hydrates of natural gases / E. Dendy Sloan. – [2-nd ed.]. – NY: Marcel Dekker, 1998. – 705 p 4. Педченко Л.О. Теоретичні та технологічні основи виробництва і зберігання гідратів вуглеводневих газів: монографія / Л.О. Педченко; [за ред. М.Л. Зоценка]; ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ТОВ «Фірма «Техносервіс», 2018. – 179 с.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Газові гідрати у газопромислових системах.

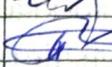
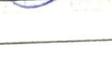
2. Інгібітори гідратоутворення. Їх підготовка та застосування.

3. Перспективи застосування інгібіторів гідратоутворення кінетичної дії як альтернативи метанолу.

4. Регенерація інгібітора гідратоутворення. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	к.т.н., доц. Педченко Л.О.		
2	к.т.н., доц. Астасюк І.М.		
3	к.т.н., доц. Ларусевич С.В.		
4	к.т.н., доц. Педченко М.М.		

7. Дата видачі завдання

14.10.24

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Етапи підготовки	Термін виконання
1	Інформаційно-оглядова частина	24.10.24
2	Експериментальна частина	14.11.24
3	Теоретична частина (Аналітика. Статистика. Моделювання)	05.12.24
4	Впровадження результатів досліджень	01.12.24
5	Оформлення та узгодження роботи	12.12.24
6	Попередні захисти робіт	16.12.24
7	Захист магістерської роботи	

Студент



Осіпенко А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Педченко Л.О.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>Розділ I. Газові гідрати у газопромислових системах</b> .....	7
1.1. Газові гідрати: визначення, властивості, умови утворення	7
1.2. Особливості кінетики утворення та дисоціації гідратів	11
1.3. Методи попередження утворення гідратів у газопромислових системах та їх класифікація .....	18
1.4. Висновки до розділу I .....	24
<b>Розділ II. Інгібітори гідратоутворення. Їх підготовка та застосування</b> .....	25
2.1. Інгібітори для попередження утворення та відкладення газогідратів, їх класифікація та вибір .....	25
2.2. Використання метанолу в якості інгібітора гідратоутворення на газових родовищах .....	27
2.3. Етанол як інгібітор гідратоутворення та його властивості ....	32
2.4. Інгібітори гідратоутворення кінетичної дії та механізм їх впливу .....	36
2.5. Пошук альтернативи інгібіторам термодинамічної дії, перспективи застосування їх в Україні .....	47
2.6. Висновки до розділу II. ....	50
<b>Розділ III. Перспективи застосування інгібіторів гідратоутворення кінетичної дії як альтернативи метанолу</b> .....	52
3.1. Аналіз ефективності використання інгібітора гідратоутворення кінетичної дії як альтернативи метанолу .....	52
3.2. Встановлення зон гідратоутворення на прикладі свердловин типового газоконденсатного родовища Полтавської області .....	55
3.3. Порівняльний аналіз норм витрати інгібітору .....	60
3.4. Висновки до розділу III .....	66
<b>Розділ IV. Регенерація інгібітора гідратоутворення</b> .....	68
4.1. Регенерація і газогідратне концентрування .....	68
4.2. Концентрування водоетанольного розчину газогідратним методом .....	72
4.3. Економічна ефективність регенерації суміші етанолу та PVCap 0,5% методом газогідратної кристалізації .....	76
4.4. Висновки до розділу IV .....	79
<b>Загальні висновки</b> .....	80
<b>Список використаних джерел</b> .....	81

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Технологічний процес видобутку, підготовки і транспортування газу ускладнений проблемою утворення газових гідратів. Техногенні гідрати вуглеводневих газів можуть утворюватися у призабійній зоні свердловин, їх стовбурі, в шлейфах і внутрішньопромислових колекторах, в системах промислової і заводської підготовки газу, а також в магістральних газопроводах. Класичним і основним методом боротьби з гідратоутворенням в нафтогазовій промисловості є застосування інгібітору даного процесу. Боротьба і попередження гідратоутворення на більшості родовищ проводиться із застосуванням метанолу.

У нафтогазовій галузі, нажаль, метанол поки-що практично незамінний як інгібітор гідратоутворення. Це обумовлено як його фізико-хімічними властивостями, так і низькою собівартістю. Проте існує гостра необхідність у пошуках нових шляхів і засобів попередження гідратоутворення. Перш за все це стосується розроблення і застосування нових ефективних інгібіторів гідратоутворення. При цьому поряд з аналітичними методами актуальним є створення методик і технічних засобів оцінки їх ефективності до моменту промислових випробувань.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дослідження є процеси гідратоутворення в газових свердловинах і промислових газопроводах та методи боротьби з гідратами

Для досягнення поставленої мети визначені **задачі**:

- проаналізувати сучасний стан і тенденції розвитку способів попередження і боротьби з утворенням гідратів вуглеводневих газів у свердловинах та обладнанні;
- проаналізувати особливості застосування нижчих спиртів (метанолу, етанолу) у якості інгібітору гідратоутворення;
- вивчити з використанням лабораторної установки можливість газогідратного концентрування для регенерації суміші PVCар та етанолу (лабораторія газогідратних технологій НУПП);
- провести лабораторне опробування розробленої методики.

*Об'єкт дослідження* – процеси гідратоутворення в газових свердловинах і промислових газопроводах та методи боротьби з гідратами.

*Предмет дослідження* – можливість застосування суміші PVCар та етанолу в якості інгібітора гідратоутворення.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Обґрунтовано доцільність застосування суміш PVCар та етанолу у якості інгібітору гідратоутворення в свердловинах і системах збору і підготовки сверловинної продукції;

Обґрунтовано можливість регенерації суміш PVCар та етанолу способом газогідратного концентрування.

**Практичне значення отриманих результатів:**

– запропоновано суміш PVCар та етанолу для застосування в газових свердловинах і системах збору і підготовки, як альтернативи метанолу;

– встановлено практичну можливість регенерації запропонованої суміші із застосуванням методу газогідратного концентрування, що матиме позитивний економічний і екологічний ефект.

Роботу виконано на кафедрі нафтогазової інженерії та технологій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» під керівництвом к.т.н., доцента кафедри НГіТ Педченко Л.О.

**Структура і обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 88 сторінок із них основного тексту 80 сторінки, 34 рисунки за текстом, 11 таблиць за текстом, список використаних джерел із 83 найменувань на 8 сторінках.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sloan E.D. Clathrate hydrates of natural gases. 2-nd ed. NY: Marcel Dekker,1998. – 705 p
2. Herslund, P. J.; Thomsen, K.; Abildskov, J.; Von Solms, N.; Galfre, A.; Bra'ntuas, P.; Kwaterski, M.; Herri, J.-M. Thermodynamic Promotion of Carbon Dioxide–Clathrate Hydrate Formation by Tetrahydrofuran, Cyclopentane and Their Mixtures. *Int. J. Greenhouse Gas Control* 2013, 17, 397–410.
3. Stoll R. D. Physical Properties of Sediments Containing Gas Hydrates / R.D. Stoll, G.M. Bryan // *J. Geophys. Res.* – 1979. – Vol. 84. – No B4. – P. 1629 – 1634.
4. Kashchiev D. Driving force for crystallization of gas hydrates / D. Kashchiev, A. Firoozabadi // *J. Crystal Growth.* – 2002. – Vol. 241. – P. 220 – 230.
5. Englezos P. Kinetics of formation of methane and ethane gas hydrates. / P. Englezos, N. Kalogerakis, P.D. Dholabhai, P.R. Bishnoi // *Chem. Eng. Sci.* – 1987. – Vol. 42. – P. 2647 – 2658
6. Kashchiev D. Induction time in crystallization of gas hydrates / D. Kashchiev, A. Firoozabadi // *J. Crystal Growth.* – 2003. – Vol. 250. – P. 499 – 515
7. Thermodynamic and Polymeric Inhibitors Effects on Methane Gas Hydrate Formation / *Trends in Applied Sciences Research*, 2012. 7(7), 505-513.
8. Dinsmore A. D. Self-assembly of colloidal crystals / A.D. Dinsmore, J. Crocker, A. G. Yodh // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* – 1998. – Vol. 3. – No. 1. – P. 5.
9. Yousif M.H., Dorshow R.B., Young D.B. Testing of hydrate kinetic inhibitors using laser light scattering technique // *Annals of the New York Academy of Sciences.* – 1994. – Vol. 715. – P. 330–340.
10. Servio P. Kinetics of ethane hydrate growth on latex spheres measured by a light scattering technique / P. Servio, P. Englezos, P.R. Bishnoi // *Ann. NY Acad. Sci.* – 2000. – Vol. 912. – P. 576 – 582.

11. Herri J. Kinetics of methane hydrate formation / J. Herri, F. Gray, M. Cournil // Proceed. 2-nd Intern. Conf. on natural gas hydrates, Toulouse, France, June 2-6, 1996. – P. 243 – 250.

12. Study of methane hydrate inhibition mechanisms using copolymers / B. Cingotti, A. Siquin, J.P. Durand, T. Palermo // Ann. NY Acad. Sci. – 2000. – Vol. 912. – P. 766 – 776.

13. Bishnoi P.R. A unified description of the kinetics of hydrate nucleation, growth, and decomposition / P.R. Bishnoi, V. Natarajan, N. Kalogerakis // Ann. NY Acad. Sci. – 1994. – Vol. 715. – P. 311 – 321.

14. Measurements of induction times for the formation of methane and ethane gas hydrates / P. Skovborg, H.J. Ng, P. Rasmussen, U. Mohn // Chem. Eng. Sci. – 1993. – Vol. 48. – P. 445 – 453.,

15. Sloan E. D. Clathrate hydrates of natural gases / E. Dendy Sloan. – [2-nd ed.]. – NY: Marcel Dekker, 1998. – 705 p.

16. Патент України на винахід № 105208 Застосування рідинно-газового струминного апарата з подовженою камерою змішування як контактного пристрою для утворення газових гідратів / Педченко Л.О., Педченко М.М.; заявник і власник патенту Педченко М.М. – № а 2011 11349; опубл. 25. 04. 2014; Бюл. № 8. Режим доступу: <http://uapatents.com/5-68770-zastosuvannya-ridinno-gazovogo-struminnogo->

17. Патент України на винахід № 101882. Спосіб виробництва гідратів попутного нафтового газу з метою їх транспортування і зберігання / Л.О. Педченко, М.М. Педченко; заявник і власник патенту Педченко М.М.. – № а 201111344; заяв. 26.09.2011; опубл. 13. 05. 2013; Бюл. № 9. Режим доступу: <http://uapatents.com/8-101882-sposib-virobnictva-gidrativ-poputnogo-naftovogo->

18. Freer E.M. Methane hydrate film growth kinetics / E.M. Freer, M.S. Selim, E.D. Sloan // Fluid Phase Equilibr. – 2001. – Vol. 185. – P. 65 – 75.

19. Sugaya M. Behavior of clathrate hydrate formation at the boundary of liquid water and a fluorocarbon in liquid or vapor state / M. Sugaya, Y.H. Mori // Chem. Eng. Sci. – 1996. – Vol. 51. – P. 3505 – 3517.

20. Ohmura R. Measurements of clathrate-hydrate film thickness using laser interferometry / R. Ohmura, S. Kashiwazaki, Y.H. Mori // J. Crystal Growth. – 2000. – Vol. 218. – P. 372 – 380.

21. NRI measurement of hydrate growth and an application to advanced CO<sub>2</sub> sequestration technology / [S. Hirai, Y. Tabe, K. Kuwano et al.] // Ann. NY Academy Sci. – 2000. – Vol. 912. – P. 246 – 253.

22. Englezos P. Clathrate hydrates / P. Englezos // Ind. Eng. Chem. Res. – 1993. – Vol. 32. – P. 1251 – 1274.

23. Taylor C.E. Advances in the Study of Gas Hydrates / Taylor C.E., Kwan J.T. // Kluwer Academic / Plenum Publishers: – New York, NY, USA, – 2004

24. Chacin, M.C.G. Phenomenological modeling of hydrate formation and dissociation. In Advances in the Study of Gas Hydrates / Chacin M.C.G., Hughes R.G., Civan, F., Taylor, C.E. // Kluwer Academic/Plenum Publishers: –New York, NY, USA. – 2004. – P. 27–38

25. Taylor C.E. English N. Methane hydrate research at NETL: Research to make methane production from hydrates a reality./ Taylor C.E., Link D.D., English N. // J. Pet. Sci. Engineering. – 2007. – Vol. 56. – P. 186 –191

26. Handa Y.P. Calorimetric determinations of the compositions, enthalpies of dissociation, and heat capacities in the range 85 to 270 K for clathrates of xenon and krypton / Y.P. Handa // J.Chem. Thermodynamics. – 1986. – Vol. 18. – P. 891 – 902.

27. Laboratory analysis of naturally occurring gas hydrate from sediment of the Gulf Mexico / [D.W. Davidson, S.K. Garg, S.R. Gough et al.] //Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1986. – Vol. 50. – P. 619 – 623.

28. In situ X-ray diffraction measurements of the self-preservation effect of CH<sub>4</sub> hydrate / [S. Takeya, W. Shimada, Y. Kamata et al.] // J. Phys. Chem. A. – 2001. – Vol. 105. – P. 9756 – 9759.

29. Self-preservation effect and dissociation rates of CH<sub>4</sub> hydrate / [S. Takeya, T. Ebinuma, T. Uchida et al.] // J. Crystal Growth. – 2002. – Vol. 237 – 239. – P. 379 – 382

30. Levik O.I. Thermophysical and Compositional Properties of Natural Gas Hydrate, Dr.Ing. Thesis, Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, NTNU, Trondheim, September, 2000. – 164 p.

31. Dinsmore A. D. Self-assembly of colloidal crystals / A.D. Dinsmore, J. Crocker, A. G. Yodh // Curr. Opin. ColloidInterfaceSci. – 1998. – Vol. 3. –No. 1. – P. 5.

32. The rate of formation of the hydrate of F-31 and F-142b in a stirred tank reactor / Barduhn A.J., Roux G.M., Richard H.A. [et al.]// Desalination. –1976. – V. 18. – P. –59.

33. Vu V. Q. Use of a predictive electrolyte equation of state for the calculation of the gas hydrate formation temperature in the case of systems with methanol and salts / V. Q. Vu, P. D. Suchaux, W. First // Fluid Phase Equilibria. – 2002. – V. 194-197. – P. 361-370.

34. Дмитренко В.І. Перспективи використання високомінералізованих пластових вод для попередження гідратоутворення в процесі видобування вуглеводневої сировини на свердловинах видобувного фонду / В.І. Дмитренко , І.Г. Зезекало, В.М. Орловський // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2015. № 3(56) С. 121- 126.

35. Barrer R.M., Ruzicka D.J. Non-stoichiometric clathrate compounds of water. Part 4. Kinetics of clathrate phases // Transactions of the Faraday Society. – 1962. – Vol. 58. – P. 2262–2271.

36. Soper A.K., Finney J.E. Hydration of methanol in aqueous solution // *Phys. Rev. Eet.* – 1993. – Vol. 71, № 26. – P. 4346–4349.

37. Holder G. Phase behaviour in systems containing clathrate hydrates. A Review / G. Holder, S. Zetts, N. Pradhan // *Reviews in Chemical Engineering.* – 1988. – V. 5. – 70 p.

38. Fonte, S. S. D. A review of the main techniques to avoid the formation of hydrates / Fonte, S. S. D. 1; a Simonelli, G.; a Santos, L. C. L.// *Brazilian Journal of Petroleum and Gas.* 2018. – V.12 n.1 – P. 061 – 073.

39. Kelland, M. A. History of the Development of Low Dosage Hydrate Inhibitors. *Energy Fuels* 2006, 20 (3), 825–847

40. Lederhos, J. P.; Long, J. P.; Sum, A.; Christiansen, R. L.; Sloan, E. D. Effective Kinetic Inhibitors for Natural Gas Hydrates. *Chem. Eng. Sci.* 1996, 51 (8), 1221–1229

41. Gas Hydrate Formation and Control by the Use of Chemicals / Chittawan Nakarit// Faculty of Science and Technology Department of Mathematics and Natural Science June, 2012

42. Guide to the Practical Use of Chemicals in Refineries and Pipelines / Johannes Fink // Elsevier 50 Hampshire Street, Cambridge, MA 02139, USA, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, O[ford, OX5 1GB,UK, 2016. 250 p.

43. Panchalingam V, Rudel MG, Bodnar SH. Methods for inhibiting hydrate blockage in oil and gas pipelines using amide compounds. 2008. <http://www.freepatentsonline.com/7381689.html>

44. Boyun Guo, ... Tian Ran Lin, in [Offshore Pipelines \(Second Edition\)](#), 2014 Low-Dosage Hydrate Inhibitors

45. Thierry Palermo, Dendy Sloan, in [Natural Gas Hydrates in Flow Assurance](#), 2011

45. Klomp, U. The World of LDHI: From Conception to Development to Implementation. In Proceedings of the 6th International Conference on Gas Hydrates (ICGH 2008); Vancouver, British Columbia, Canada, 2008.

46. Sharifi, H.; Walker, V. K.; Ripmeester, J. A.; Englezos, P. Insights into the Behavior of Biological Clathrate Hydrate Inhibitors in Aqueous Saline Solutions. *Cryst. Growth Des.* 2014, 14 (6), 2923–2930.

47. Cruz-Torres, A.; Romero-Martinez, A.; Galano, A. Computational Study on the Antifreeze Glycoproteins as Inhibitors of Clathrate-Hydrate Formation. *ChemPhysChem* 2008, 9, 1630–1635.

48. Walker, V. K.; Zeng, H.; Ohno, H.; Daraboina, N.; Sharifi, H.; Bagherzadeh, S. A.; Alavi, S.; Englezos, P. Antifreeze Proteins as Gas Hydrate Inhibitors. *Can. J. Chem.* 2015, 93 (8), 839–849.

49. Nazari, K.; Moradi, M. R.; Ahmadi, A. N. Kinetic Modeling of Methane Hydrate Formation in the Presence of Low-Dosage-WaterSoluble Ionic Liquids. *Chem. Eng. Technol.* 2013, 36 (11), 1915–1923.

50. Xiao, C.; Adidharma, H. Dual Function Inhibitors for Methane Hydrate. *Chem. Eng. Sci.* 2009, 64 (7), 1522–1527.

51. Herslund, P. J.; Thomsen, K.; Abildskov, J.; Von Solms, N.; Galfre, A.; Brañtuas, P.; Kwaterski, M.; Herri, J.-M. Thermodynamic Promotion of Carbon Dioxide–Clathrate Hydrate Formation by Tetrahydrofuran, Cyclopentane and Their Mixtures. *Int. J. Greenhouse Gas Control* 2013, 17, 397–410.

52. Nakarit, C.; Kelland, M. A.; Liu, D.; Chen, E. Y. X. Cationic Kinetic Hydrate Inhibitors and the Effect on Performance of Incorporating Cationic Monomers into N-Vinyl Lactam Copolymers. *Chem. Eng. Sci.* 2013, 102, 424–431.

53. Dirdal, E. G.; arulanantham, C.; Sefidroodi, H.; Kelland, M. A. Can Cyclopentane Hydrate Formation Be Used to Rank the Performance of Kinetic Hydrate Inhibitors? *Chem. Eng. Sci.* 2012, 82, 177–184.

54. Talley, L. D.; Colle, K. S. International Patent Application WO/2006/110192, 2006. (73) Schrader, G. A. International Patent Application WO/2012/041785, 2012

55. Hussain, A.; Gharfeh, S.; Adham, S. S. Study of Kinetic Hydrate Inhibitor Removal Efficiency by Physical and Chemical Processes. In SPE International Production and Operations Conference & Exhibition; Proceedings of the Society of Petroleum Engineers: Doha, Qatar, 2012.

56. Walker, V. K.; Zeng, H.; Ohno, H.; Daraboina, N.; Sharifi, H.; Bagherzadeh, S. A.; Alavi, S.; Englezos, P. Antifreeze Proteins as Gas Hydrate Inhibitors. *Can. J. Chem.* 2015, 93 (8), 839–849

57. Leinweber, D.; Feustel, M. U.S. Patent Application 20090054268, 2009.

58. Lee, J. D.; Wu, H.; Englezos, P. Cationic Starches as Gas Hydrate Kinetic Inhibitors. *Chem. Eng. Sci.* 2007, 62, 6548–6555.

59. Sharifi, H. Laboratory Evaluation of Chemical and Biological Kinetic Gas Hydrate Inhibitors. PhD. Thesis, University of British Columbia, 2014.

60. Гідратоутворення під час експлуатації підземних сховищ газу / Р. В. Кохтюк // Трубопровідний транспорт, 2014, 1(85) 2014 р. С.11-14.

61. Ming Wu, Shumiao Wang, Hongbo Liu, A Study on Inhibitors for the Prevention of Hydrate Formation in Gas Transmission Pipeline – US.: *Journal of Natural Gas Chemistry* 16(2007)81-85 p

62. Gas Hydrate Formation and Control by the Use of Chemicals / Chittawan Nakarit// Faculty of Science and Technology Department of Mathematics and Natural Science June, 2012

63. Barrer R.M., Ruzicka D.J. Non-stoichiometric clathrate compounds of water. Part 4. Kinetics of clathrate phases // *Transactions of the Faraday Society.* – 1962. – Vol. 58. – P. 2262–2271.

64. Effect of alcohols and diols on PVCap induced hydrate crystal growth patterns in methane systems/ Houra Mozaffar, Ross Anderson, Bahman Tohidi // Fluid Phase Equilib, 2002, vol.6, p.1-14.

65. Fateme Sadat Mosavi Kakavand. Thermodynamic modeling of inhibitors' role in preventing from gas hydrate formation in the pipelines /Fateme Sadat Mosavi Kakavand, Reihaneh Asachi // Ciências Natura, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. 2015, vol. 37, part 1, p. 86–92.

66. Yong Bai Learn more about Hydrate Dissociation. Hydrates / Yong Bai, Qiang Bai // Subsea Pipelines and Risers, 2005. 38 p.

67. Muhammad N. Khan Phase equilibria modeling of inhibited gas hydrate systems including salts: applications in flow assurance, seawater desalination and gas separation / Dr.Ing. Thesis /Muhammad N. Khan; Department of Chemical Engineering Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 2015, 274 p.

68. L.E. Zerpa Hydrate risk assessment and restart – procedure optimization of an offshore well using a transient hydrate prediction model / L.E. Zerpa, E.D. Sloan, C.A.Koh, A.K.Sum// Oil and Gas Facilities, Colorado School of Mines. October, 2012. P.49 – 56.

69. André M. Palma Modelling hydrate dissociation curves in the presence of hydrate inhibitors with a modified CPA EoS / André M. Palma, Antonio J. Queimada, Joao A.P. Coutinho // Ind. Eng. Chem. Res., Just Accepted Manuscript. Public. September 22, 2019. P. 1 – 25.

70. Ferrari Paolo F. Experimental and modeling of carbon dioxide hydrate phase equilibrium in the presence of thermodynamic inhibitors / Ferrari Paolo F., Amanda Z. Guembaroski, Luciano F. dos Santos Rossi, Moises A. Marcelino Neto, Rigoberto, E. M.Morales// Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 23<sup>rd</sup> ABCM International Congress of Mechanical Engineering, December 6-11, 2015. P. 1-8.

71. Педченко Л.О. Теоретичні та технологічні основи виробництва і зберігання гідратів вуглеводневих газів: монографія / Л.О. Педченко; [за ред.

М.Л. Зоценка]; ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка. – Полтава: ТОВ «Фірма «Техносервіс», 2018. – 179 с.

72. The role of natural gas hydrate during natural gas transportation / Omer Halisdemir, Sukru MEREY, Sotirios Nik // *Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 7, Sayı 2, (2018), 937-953 *University Journal of Engineering Sciences*, Volume 7, Issue 2, (2018), 937-953 p

73. Математичні методи в нафтогазовій геології. Підручник для студентів вищих навчальних закладів / О.Є. Лозинський, В.О. Лозинський, Б.Й. Маєвський та інші. – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – 276 с.

74. Педченко М.М. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу гідратоутворення вуглеводневих газів у реакторах струминного типу: автореф. на здобут. наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.17.08 – “Процеси та обладнання хімічної технології” / М.М. Педченко; Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків, 2013. – 24 с.

75. Synthesis of Methane Hydrate from Ice Powder Accelerated by Doping Ethanol into Methane Gas / [Yen-An Chen](#), [Liang-Kai Chu](#), [Che-Kang Chu](#), [Ryo Ohmura](#), [Li-Jen Chen](#)// *Reviews in Chemical Engineering*, 2019, vol. 9, p.12-45.

76. НПАОП 60.3-1.03-04 Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів. Нормативно-правовий акт з охорони праці затверджено: Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 02.03.04 № 69 НПАОП 1.1.23-1.03-2004 Правила безпечної експлуатації магістральних газопроводів Київ – 40 с.

77. Положення про порядок контролю за зберіганням, відпуском і транспортуванням спирту етилового / Затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 02.12.96 р. N 1438 та ін.