

**Казанский Федеральный Университет**  
**Кафедра технологии нефти, газа и углеродных материалов**  
**Kazan Federal University,**  
**Department of oil & gas technology and carbon materials**  
**Российское газовое общество**  
**Russian Gas Society**

**Проектирование криогенных резервуаров**  
**и газгольдеров низкого давления. Часть 2.**

**Design of cryogenic tanks and low pressure gas holders. Part 2.**

**Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich**

кандидат технических наук, доцент кафедры технологии нефти, газа и углеродных материалов, Член Экспертного совета Российского газового общества (РГО),

и.о. руководителя группы «Водородная и альтернативная РГО,

Казань, Россия

E-mail: [kemalov@mail.ru](mailto:kemalov@mail.ru)

**Аннотация:**

Резервуары низкого давления служат для хранения воды, нефти и нефтепродуктов. В зависимости от положения в пространстве цилиндрические резервуары делят на вертикальные и горизонтальные. Вертикальные цилиндрические резервуары имеют днище, стенку, крышу, эксплуатационное оборудование. В них хранятся нефтепродукты при малой их оборачиваемости (10-12 раз в год).

**Abstract:**

Low pressure tanks are used to store water, oil and oil products. Depending on the position in space, cylindrical tanks are divided into vertical and horizontal. Vertical cylindrical tanks have a bottom, a wall, a roof, and operational equipment. They store oil products with their low turnover (10-12 times a year).

### **Ключевые слова:**

Резервуары низкого давления, цилиндрические резервуары, днище, стенку, крышу, эксплуатационное оборудование, нефтепродукты

### **Keywords:**

Low pressure tanks, cylindrical tanks, bottom, wall, roof, service equipment, oil products

### **Введение (Introduction)**

При большей оборачиваемости нефтепродуктов применяются резервуары с плавающей крышей и понтоном. Вертикальные резервуары применяют для хранения легковоспламеняющихся жидкостей (например, бензина) при объемах до 20000 м<sup>3</sup>: для хранения горючих жидкостей Объем вертикальных до 50000 м<sup>3</sup> и более и регламентируется нормальным рядом: 100, 200, 300, 400, 500, 700, 1000, 2000, 3000, 5000, 10000, 20000, 30000 и 50000 м<sup>2</sup>.

**Наземные и подземные газгольдеры.** Подземные газгольдеры используются, в основном, для автономной газификации производственных и жилых помещений. Монтаж подземного газгольдера производится на глубине ниже уровня промерзания грунта и, соответственно, не требуется дополнительное оборудование для обогрева газового резервуара в холодных климатических условиях. Для защиты емкости от механического и химического воздействия стенки обрабатывают дополнительным антикоррозионным покрытием. Газгольдеры, установленные под землей, представляют собой резервуар с горловиной, к которой подсоединены манометры, клапана и другое газовое оборудование. Подземные газгольдеры бывают горизонтальными и вертикальными. Наземные газгольдеры проще в установке и подведении необходимых технологических коммуникаций.

### **Вертикальные и горизонтальные подземные газгольдеры**

Вертикальные газгольдеры для хранения СУГ используются на больших предприятиях из-за экономии территории. Следует отметить, что для

надежного функционирования вертикальных газовых резервуаров на них устанавливают теплоизоляцию.

Горизонтальные газгольдеры (рисунок 1) отличаются большей площадью испарения, чем вертикальные, что влияет на увеличение производительности газового резервуара. Производительность газгольдера — это тот объем газообразной фракции газа, который образовывается от испарения жидкой фазы сжиженного газа. Испарение жидкой фазы СУГ зависит от площади поверхности (так называемого, зеркала) — чем площадь больше, тем больше испарение. Соответственно, площадь поверхности жидкой фазы газа больше у горизонтальных газгольдеров. Но производительность стабильнее у вертикальных, так как при заполнении горизонтального газгольдера площадь зеркала меняется, а у вертикального остается стабильной.

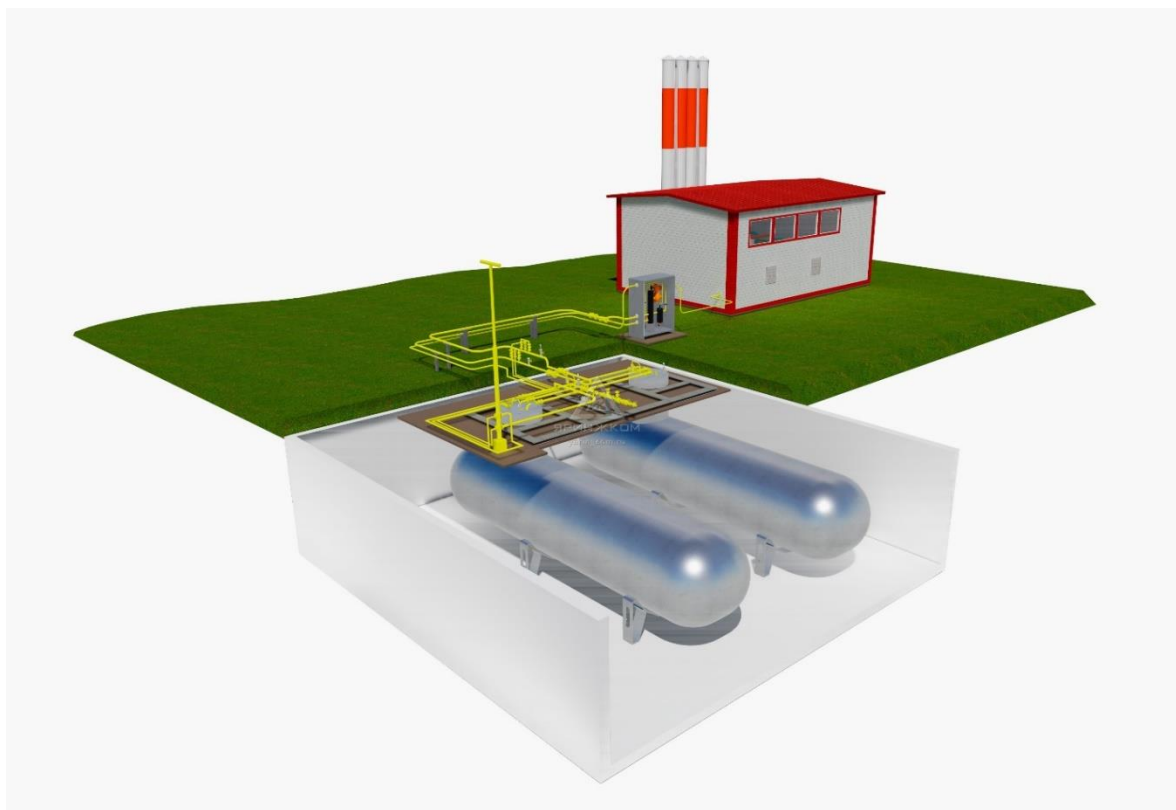


Рисунок 1 - Горизонтальные подземные газгольдеры

Функции, выполняемые газгольдерами

Емкости с газом или газовой смесью сооружаются и служат для

выполнения функций:

- длительного или кратковременного хранения газа;
- получение газовых смесей различной концентрацией путем смешивания, перемешивания разных газовых составляющих;
- проведение измерений объема израсходованного газа;
- сохранение уровня энергии давления продукта, хранимого в резервуарах;
- распределение содержимого потребителям;
- поддержание стабильного уровня давления при замкнутом цикле газораспределительной системы;
- сигнализации при сбоях в технологических процессах или при нарушении стабильности установленного режима.

Подземные емкости для хранения сжиженных газов эксплуатируются при давлении до 1,6 МПа и при температурном режиме от -40°C до +40°C. В холодных климатических условиях в конструкции подземной емкости СУГ предусматривается подогреватель газа.

На заводе-изготовителе подземные емкости СУГ проходят проверку на герметичность, гидравлические испытания, контроль качества сварных швов в соответствии с государственными нормами и стандартами.

В комплект поставки подземных емкостей для СУГ входит:

- паспорт сосуда,
- технологическое оборудование по требованию Заказчика (запорная арматура, клапаны, манометр, приборы контроля уровня, КИП и др.).

Специалисты Группы компаний Газовик поставляют подземные газгольдеры, изготовленные в соответствии с государственными нормами и стандартами и прошедшими Техническое освидетельствование:

- ГОСТ Р 52630-2012 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия",
- ПБ 12-609-03 "Правила безопасности для объектов, использующих сжиженные углеводородные газы",
- ПБ 03-576-03 "Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов,

работающих под давлением",

- ОСТ 26 291-94 "Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия".

### Расчёт и проектирование горизонтального газгольдера

Таблица 1 - Расчет основных параметров газгольдера

№	Параметры	Результате расчет
1	Определение оптимального диаметра резервуара, м	3
2	Радиус, м	1,5
3	Истинная длина резервуара, м	6,95
4	Фактический объём резервуара, м <sup>3</sup>	49,1
5	Толщину стенки, мм	4
	устойчивости стенки	0,8
	нища на прочность, кН/ [см] <sup>^2</sup>	5,88

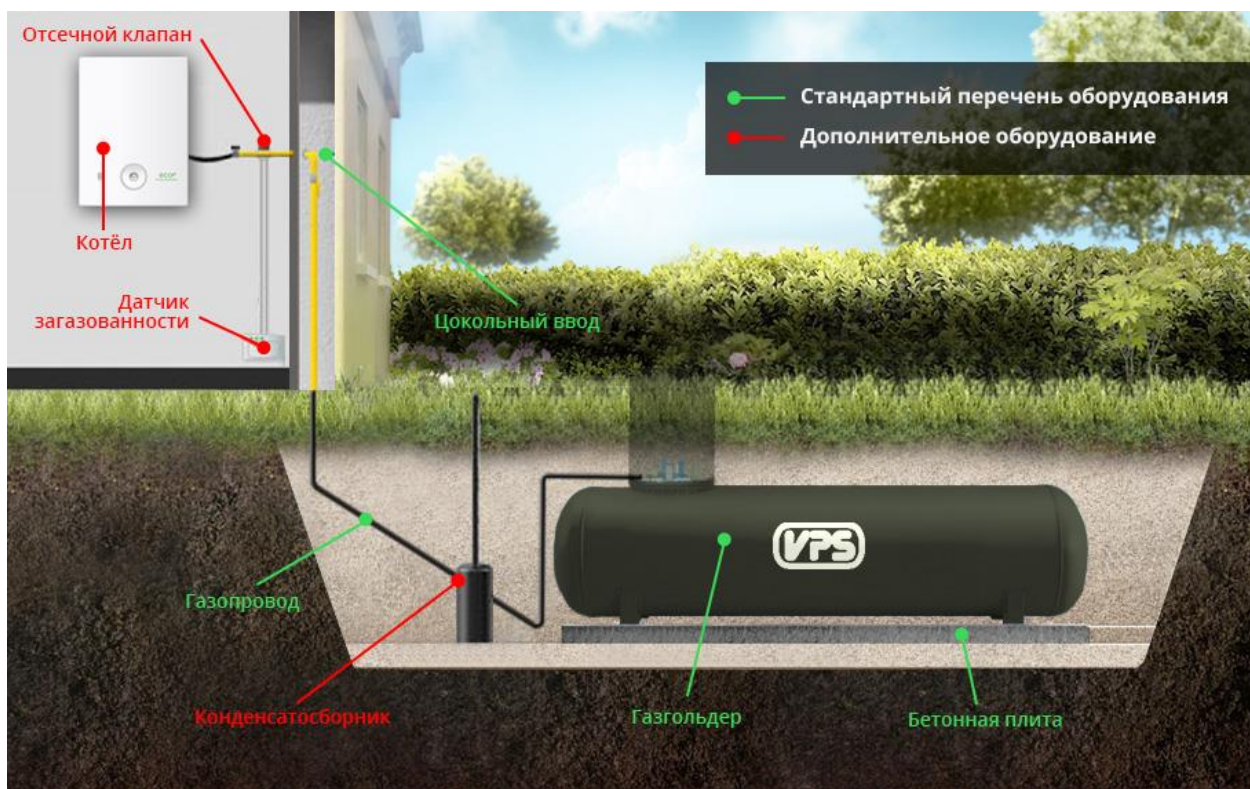
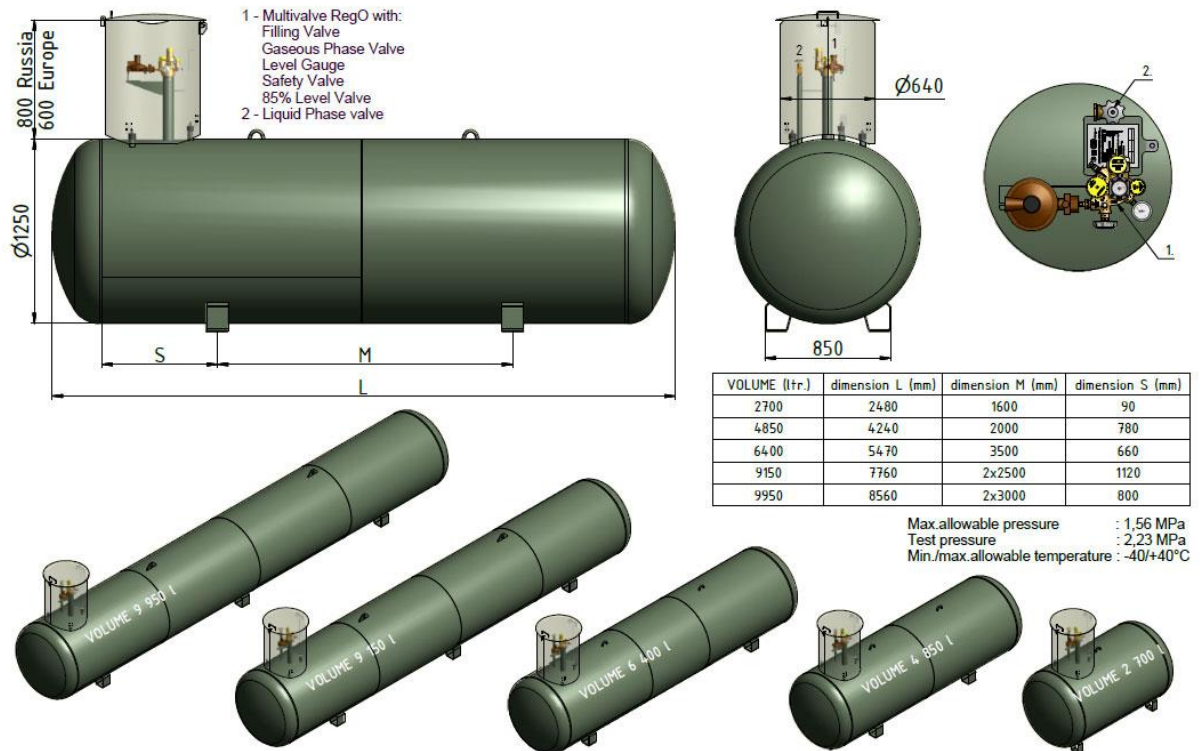


Рисунок 2 – Монтажная схема газгольдера VPS



Version of LPG tank with multivalve RegO

Date: 16.8.2013 / Drawing No. VPS 2-4-0871

Рисунок 3 – Технические параметры газгольдеров VPS

Таблица 2 – Характеристики газгольдеров

Характеристики	Показатель
Рабочая температура	-40 гр.С +40гр. С
Максимальное рабочее давление	15,6 бар
Рабочая среда	Сжиженный углеводородный газ
Предел наполнения	85% геометрического объема

Таблица 3 - Техничко-экономические показатели газгольдера

Газгольдер (ёмкость для хранения СУГ)	Объём в литрах	Площадь объекта, м <sup>2</sup>	Максимальная мощность котельной (кВт.)	Цена газгольдера с редуكتورом (руб.)	Стоимость автономной газификации "под ключ" без земляных работ (руб.)	Стоимость автономной газификации "под ключ" с земляными работами(руб.)
Газгольдер VPS (Чехия) 2700	2700	до 150	до 25	205.000	250.000	265.000
Газгольдер VPS (Чехия) 4850	4850	до 300	до 45	240.000	290.000	305.000
Газгольдер VPS (Чехия) 6400	6400	до 500	до 60	320.000	375.000	390.000
Газгольдер VPS (Чехия) 9100	9100	до 800	до 80	470.000	535.000	555.000
Газгольдер VPS (Чехия) 10000	10000	до 1000	до 90	510.000	575.000	600.000

Из нашего расчета выше, получим количество пропан и бутан, которое направим для газгольдера, равное = 805,4 кг/ч, и это равно 211.947 м3/ч.

### **Моделирование получения синтез-газа методом паровой конверсии метана**

Из расчета абсорбера, таблица 4 состав и количество очищенного газа, получится количество равное 125,708 кг/ч. Направим для получения синтез-газа методом паровой конверсии метана.

Моделирование технологической схемы установки паровой каталитической конверсии проводилось нами в профильном программном обеспечении Aspen HYSYS при помощи термодинамического пакета Peng-Robinson и соответствующего набора химических реакций [4]. В модели задавался состав исходной газовой смеси, представленный в таблице 4, наборы конверсионных реакций и расход сырьевого потока 125,708 кг/ч, поток перегретого водяного пара для паровой конверсии с расходом 1050 кмоль/ч.

Таблица 4. Компонентный состав синтез-газа

Компонент	% масс
CH <sub>4</sub>	0.0000
CO <sub>2</sub>	0.0000
CO	0.0066
H <sub>2</sub>	0.9808
H <sub>2</sub> O	0.0015
N <sub>2</sub>	0.0110

Таблица 5. Материальный баланс установки производства синтез-газа

Название	% масс. на сырьё	т/год
<i>Взято:</i>		
Газ	74,747	1101.202
Вода	25,253	372,037



Итого:	100,00	1473,239
<i>Получено</i>		
Водород	98,08	1444,952
Окись углерода	0,66	9,723
Вода	0,15	2,209
Азот	1,10	16,205
Итого:	100,00	1473,239

### Выводы и заключение (Conclusions and conclusion)

Разработана модель паровой конверсии природного газа с блоком выделения водорода. Полученный результат моделирования на выходе абсорбера составил для водорода 98,08%, окись углерода 0,66%, вода 0,15% и азот 1,10%.

Данная модель позволяет получить материальный и тепловой балансы процесса, а также получение геометрических показателей аппаратов, использованных в модели.

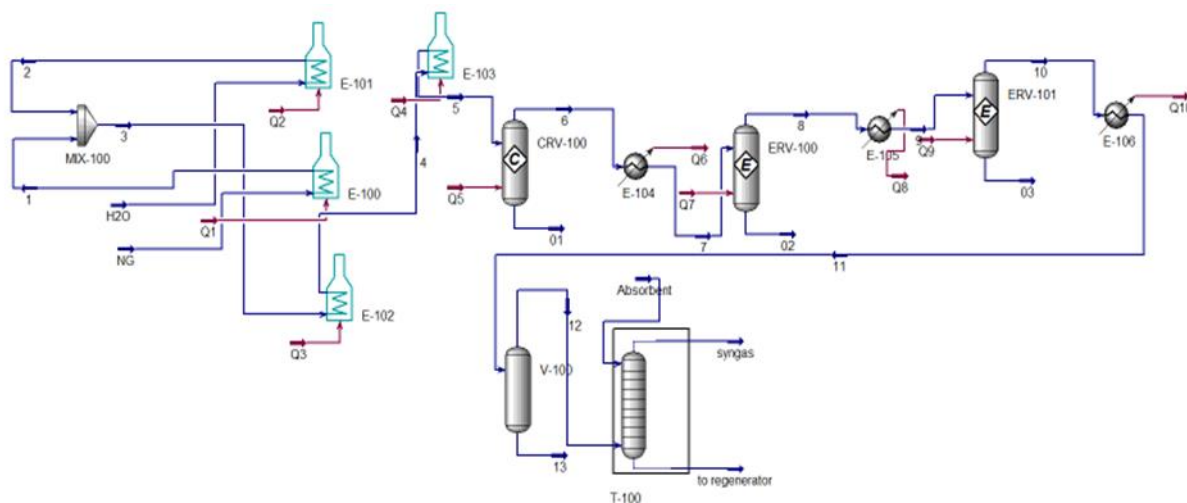


Рисунок 4 – Технологическая схема паровой каталитической конверсии метана с конечным получением водорода

## Список литературы (References):

1. Хаддади Н., Алфаяд А.Г.Х. Обзор существующих технологий получения сжиженного природного газа // Фундаментальные научно-практические исследования: актуальные тенденции и инновации. Сборник научных трудов по материалам XXV Международной научно-практической конференции (г.-к. Анапа, 31 декабря 2021 г.). – Анапа: Изд-во «НИЦ ЭСП» в ЮФО, 2021 - 104 с.
2. Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А. Сжиженные природные газы. Технологии производства, транспорта и применения. Экономика: учебное пособие / А.Ф. Кемалов, Р.А. Кемалов, – Казань: Изд-во Казанского (Приволжского) федерального университета, 2015. – 64 с.
3. Садыков Р.Ф. Уникальный завод Альметьевска // Нефть и жизнь. -2004.-№3.
4. Балыбердина И.Т. Физические методы переработки и использования газа: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1988.-248 с.
5. Бекиров Т.М. Промысловая и заводская обработка природных и нефтяных газов. – М.: Недра, 1980.-293 с.
6. ГОСТ 12.1.013-78. Система стандартов безопасности труда.
7. ГОСТ 12.1.005-88. ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
8. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация факторов.
9. Блябляс А.Н. Технология разделения попутного нефтяного газа в условиях отсутствия развитой инфраструктуры // Сборник материалов III Всероссийской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и молодых ученых с международным участием «Молодые ученые – ускорению научно технического прогресса в XXI веке / Ответственные за выпуск: А.П. Тюрин, А.Н. Домбрачев. Электронное научное издание. Ижевск: Изд-во ИННОВА, 2015. С. 570-573.
10. 3. Фаловский В.И., Хорошев А.С., Шахов А.С. Современный подход к моделированию фазовых превращений углеводородных систем с помощью уравнения состояния Пенга-Робинсона // Известия Самарского научного

центра Российской академии наук. 2011. Т. 13, № 4-1. С. 120-125.

11. Клименко А.П. Сжиженные углеводородные газы. Хранение, транспорт, реализация и использование. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Гостоптехиздат, 1962.-420 с.

12. Рамм В.М. Абсорбция газов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1976.-656 с.

13. Гудков С.Ф. переработка углеводородов природных и попутных газов. – М.: Гостоптехиздат, 1960.-174 с.

14. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1984.-592 с.

15. Чуракаев А.М. Низкотемпературная ректификация нефтяного газа. – М.: Недра, 1989.-150 с.

16. Кемпбел Д.М. Очистка и переработка природных газов / Пер. с англ. под ред. Гудкова С.Ф. – М.: Недра, 1977.-349 с.

17. Газофракционирующая установка ГФУ-300: Технологический регламент производства продукции / Управление «Татнефтегазпереработка» ОАО «Татнефть». – 2004.-278 с.

18. Сарданашвили А.Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа / А.Г. Сарданашвили, А.И. Львова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1980. -256 с.

19. Мухамадиев А.А. Основы расчетов процессов и аппаратов разделения углеводородных смесей: Методические указания / Казан. гос. технол. ун-т.-Казань, 2004.-72 с.

20. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М., Судаков Е.Н. Расчеты процессов и аппаратов нефтеперерабатывающей промышленности. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1974.-344с.

21. Кузнецов А.А., Судаков Е.Н. Расчеты основных процессов и аппаратов переработки углеводородных газов: Справочное пособие. – М.: Химия, 1983.-224 с.

22. Рябцев Н.И. Жидкие углеводородные газы. Часть I. Физико-химические свойства, анализ и получение. – М.: Издательство Министерства

коммунального хозяйства РСФСР, 1957.-169 с.

23. Клименко А.П. Получение этилена из нефти и газа. – М.: Гостоптехиздат, 1962.-236 с.

24. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Под ред. Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1983.-272 с.

25. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов. / Под ред. Чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987.-576с.

26. Колонна пропановая К-602. Техническое задание ГБ 386.02.000 ТПТЗ. – Министерство тяжелого машиностроения СССР. ЦКБН, 1990.-84с.

27. Шувалов В.В., Огадтанов Г.А., Голубятников В.А. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. – М.: Химия, 1991.-480 с.

28. Экономическое обоснование курсовых и дипломных проектов: Методические указания / Сост. В.И. Вольперт. – Казань, 1991.-28 с.

29. Халиф А.Л., Кельцев Н.В. Отбензинивание попутных нефтяных газов. – М.: Гостоптехиздат, 1955.-145 с.

30. Суханов В.П. Переработка нефти: Учебник для проф.-техн. учеб. заведений. – М.: Высшая школа, 1974.-335сч

31. Черный И.Р. Производство сырья для нефтехимических синтезов. – М.: Химия, 1983.-333 с.

32. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: Учебное пособие для вузов. – Уфа: Гилем, 2002.-672 с.

33. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. – М.: Химия, 1982.-296с.

34. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки: Справочник / Рабинович Г.Г., Рябых П.М., Хохряков П.А. и др; Под ред. Е.И. Судакова.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1979.-568 с.

35. Аналитическая служба «Нефтегазовой вертикали». Нефть и газ России,

2006 // Нефтегазовая вертикаль.- 2007.- №3. – 95 с.

36. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа/ С.А. Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.

37. Баннов П.Г. Процессы переработки нефти и газа/ П.Г. Баннов. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.

38. Коротков П.И. Освоение высокопроизводительных установок переработки газа/ П.И. Коротков, В.Г. Сандлер. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1975. – 131 с.

39. Багиров И.Т. Высокопроизводительные установки разделения газовых смесей/ И.Т. Багиров. – М.: Химия, 1964. – 132 с.

40. Расина М.Г. Химия и технология нефти и газа / М. Г. Расина, В. Н. Эрих, М. Г. Рудин. - Л.: Химия, 1972. - 464 с

41. Сарданашвили А.Г. Примеры и задачи по технологии переработки нефти и газа/ А.Г. Сарданашвили, А.П. Львова. – М.: Химия, 1980. – 256 с.

42. Молоканов Ю.К. Процессы и аппараты нефтегазопереработки / Ю. К. Молоканов. - М.: Химия, 1987. - 368 с.

43. Скобло А.И. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности / А. И. Скобло. - М.: Химия, 1982. - 584с.

44. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. - М.: Химия, 1971. - 784 с.

45. Справочник нефтепереработчика/ под ред. Г.А. Ластовкина [и др.]. М.: Химия, 1986. – 648 с.

46. Технологические расчеты установок переработки нефти/ М.А. Танатаров [и др.]. – М.: Химия, 1987. – 352 с.

47. Кувшинский М.Н. Курсовое проектирование по предмету «Процессы и аппараты химической промышленности»/ М. Н. Кувшинский, А. П. Соболева. - М.: Высшая школа, 1980. - 223 с.

48. Гельперин Н.И Основные процессы и аппараты химической технологии / Н. И. Гельперин. - М.: Химия, 1981. - 812 с.

49. Романков П.Г. Процессы и аппараты химической промышленности / П. Г.

Романков. - Л.: Химия, 1989. - 560 с.

50. Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности / В.В. Шувалов, Г.А. Огадтанов, В.А. Голубятников. – М.: Химия, 1991. – 480 с.

51. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы: справочное пособие / Б.Д. Кошарский [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1976. – 488 с.

52. ТОИ 12.2.659–03. Основные требования и правила ведения технологического процесса производства / ОАО ННПЗ. – Нижнекамск, 1999.-261 с.

53. ПУБЭ 12.3.003 –01. Стандарты требований безопасности к оборудованию / ОАО ННПЗ. – Нижнекамск, 1986. – 123 с.

54. Фарамазов С.А. Оборудование нефтеперерабатывающих заводов и его эксплуатация / С.А. Фарамазов. – М.: Химия, 1984. – 327 с.

55. Медведева В.С. Охрана труда и противопожарная защита в химической промышленности / В. С. Медведев. - М.: Химия, 1989. - 288 с.

56. Девисилов В.А. Охрана труда / В. А. Девисилов. - М.: Форум Инфра - М, 2004. - 400 с.

57. Экономическое обоснование курсовых и дипломных проектов: методические указания/ сост. Ю.Н. Барышев; Казан. гос. технол. ун-т. - Казань, 1996. – 28 с.

58. История Группы Татнефть. Интернет-ресурсы: 26.06.2016 г. <http://www.tatneft.ru/o-kompanii/istoriyagruppi-tatneft/?lang=ru>.

59. Годовой отчет ПАО «Татнефть» за 2015год. Интернетресурсы: 05.09.2016 г. [http://www.tatneft.ru/storage/block\\_editor/files/7b015fcff5f44cdcc6b1373b537161c29397b5ac.pdf](http://www.tatneft.ru/storage/block_editor/files/7b015fcff5f44cdcc6b1373b537161c29397b5ac.pdf).

60. Наиль Маганов, Наиль Ибрагимов, Раис Хисамов и др. Опыт разработки мелкозалегающих залежей тяжелой нефти // Oil & Gas Journal Russia, июнь/июль 2015. — С. 60-63.

61. Антон Субботин «Танеко»: от замысла до воплощения // Нефть и жизнь. — 2015. — № 6 (98). — С. 15-18.

62. История Управления «Татнефтегазпереработка». Интернет-ресурсы:

26.06.2016 г. <http://tngp.tatneft.ru/istoriya/?lang=ru>.

63. Фасхутдинов К.Ф. Возникновение и развитие нефтехимической промышленности в Татарской АССР // 40 НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА и НЕФТЕХИМИЯ № 11 · 2016 · [www.npnh.ru](http://www.npnh.ru) Вестник Казанского технологического университета. — 2013. — № 24, Т. 6. — С. 129-132.

64. Управление «Татнефтегазпереработка». Интернетресурсы: 30.06.2016 г. <http://www.himtrade.ru/passportdescription-966.htm>.

65. Аджиев А.Ю., Пуртов П.А. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России. Ч. 2. — Краснодар: ЭДВИ, 2014. — С. 239-245.

66. ОАО «Татнефть». Годовой отчет за 2014 год. С. 18. Интернет-ресурсы: [http://www.tatneft.ru/storage/block\\_](http://www.tatneft.ru/storage/block_)

[editor/files/ba51e4029f7060e3da0bdf500fbf4389bef10a86.pdf](http://www.tatneft.ru/storage/block_editor/files/ba51e4029f7060e3da0bdf500fbf4389bef10a86.pdf). 10. Лapidус А.Л., Голубева И.А. Попутный нефтяной газ: проблемы утилизации и экологии // Технологии нефти и газа. — 2013. — № 1 (84). — С. 12-17.

67. Maciej P., Marcin M., Ryszard P., Andrzej P., Kamil K., Marcin P. Liquefied Petroleum Gas (LPG) as a Fuel for Internal Combustion Engines // April 22nd, 2015Reviewed: October 13th, 2015Published: March 24th, 2016.