

ХОЛОД И СИСТЕМЫ БЕЗДРЕНАЖНОГО ХРАНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Канд. техн. наук **Н. Г. КИРИЛЛОВ**

Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского

The current methods of reduction of losses of light fractions of hydrocarbons (LFU) during storage of oil and oil products are considered together with their drawbacks. A new technology of LFU trapping on the basis of low-temperature machines of Stirling is proposed. Three types of the system for long-term storage of oil products have been developed on its base: with direct reduction of LFU, with bubbling of LFU, thermostating of gas space of reservoirs for oil products. The two later types of the system are considered in detail and also the indices of economic efficiency from their use.

Одна из специфических особенностей хранения нефти и нефтепродуктов – испаряемость легких фракций углеводородов (ЛФУ) – служит основной причиной технологических потерь ценного сырья и вредных выбросов в окружающую атмосферу. По оценкам отечественных специалистов, в России только за год потери от испарения бензина на нефтебазах составляют более 100 тыс. т.

Потери нефтепродуктов являются следствием так называемых «большого и малого дыханий» резервуаров [7].

При «большом дыхании» происходит вытеснение паровоздуш- ной смеси в окружающую среду в процессе заполнения резервуара нефтью и нефтепро- дуктами (объем газового про- странства уменьшается, сраба- тывает дыхательный клапан). Обратное явление — поступле- ние воздуха в резервуар — отме- чается при откачке продукта. Объем «большого дыхания» приблизительно соответствует поступившему в резервуар ко- личество продукта. Потери в ре- зультате «большого дыхания» растут с увеличением оборачи- ваемости (числа циклов запол- нения-откачки) резервуаров и зависят от климатической зоны. В таблице представлены потери в наземных резервуарах со ста- ционарными крышами.

Потери при «малом дыхании» вызываются температурными колебаниями окружаю-

шей среды. При повышении температуры воздуха в дневное время резервуар нагревается, увеличивается испарение нефтепродуктов, особенно легколетучих фракций, а следовательно, растут давление и температура парогазовой смеси в резервуаре, срабатывает дыхательный клапан и паровоздушная смесь выходит в окружающую среду. Ночью давление парогазовой смеси снижается, создается частичный вакуум, и воздух через впускной клапан поступает в газовое пространство резервуара.

Для снижения потерь ЛФУ при хранении нефти и нефтепродуктов применяются различные методы: газоуравнивание; факельное сжигание; мембранное разделение смеси ЛФУ; азотное охлаждение; адсорбция с помощью активированного угля; абсорбция нефтяными маслами и т.д. У каждого из перечисленных методов есть свои достоинства, но ни один из них не может гарантированно обеспечить улавливание ЛФУ [1].

В Институте проблем нефтехимпереработки АН Республики Беларусь была проведена сравнительная оценка названных методов в условиях товарно-сырьевых парков нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ). Сравнение выполняли по принципу нормирования (приведения массы выброса к эквивалентной массе диоксида серы), который используется в расчетах индекса загрязнения атмосферы (ИЗА).

Потери нефтепродуктов в наземных резервуарах

Емкость резервуара, м³	Потери, т/год, при оборачиваемости резервуара (цикл/год)					
	Северная зона			Южная зона		
	(12)	(48)	(96)	(12)	(48)	(96)
400	2,9	9,4	15,9	4,8	12,4	22,4
1000	6,7	19,4	36,4	11,2	29,4	58,4
2000	12,6	35,5	66,0	22,2	55,6	100,3
3000	20,5	57,9	107,0	34,8	88,3	159,7
5000	28,4	80,8	150,6	60,4	126,2	227,4

Результаты сравнения эффективности различного оборудования для снижения потерь ЛФУ представлены ниже.

Оборудование	Эффектив- ность, ИЗА
Стальной резервуар с дыхательной арматурой	220
Стальной резервуар с понтонном	88
Группа стальных резервуаров с газоуравнительной линией	66
Резервуар с конденсаторной системой ПКХМ	35
Установка улавливания легких фракций (УЛФ)	2

Как видно из приведенных данных, наиболее эффективно снижают выбросы паров нефтепродуктов в атмосферу установки улавливания легких фракций (УЛФ). В настоящее время существует множество таких установок, имеющих различные конструктивное исполнение и принципы работы. При высокой эффективности существующие установки такого типа обладают рядом недостатков: они дорогостоящи, имеют сложные оборудование, систему управления и т.д. [5].

В связи с этим вопрос о средствах сокращения выбросов паров нефтепродуктов при их хранении на нефтебазах остается открытым.

Автором разработаны новые, не имеющие аналогов в мире отечественные технологии по улавливанию ЛФУ на базе низкотемпературных холодильных машин Стирлинга (Стирлинг-технологии).

Предложенные технологии относятся к классу конденсационных (обеспечивающих улавливание ЛФУ путем их охлаждения с последующей конденсацией).

Низкотемпературные холодильные машины Стирлинга высокоэффективно работают при температуре до -250°C , что позволяет сжижать при атмос-

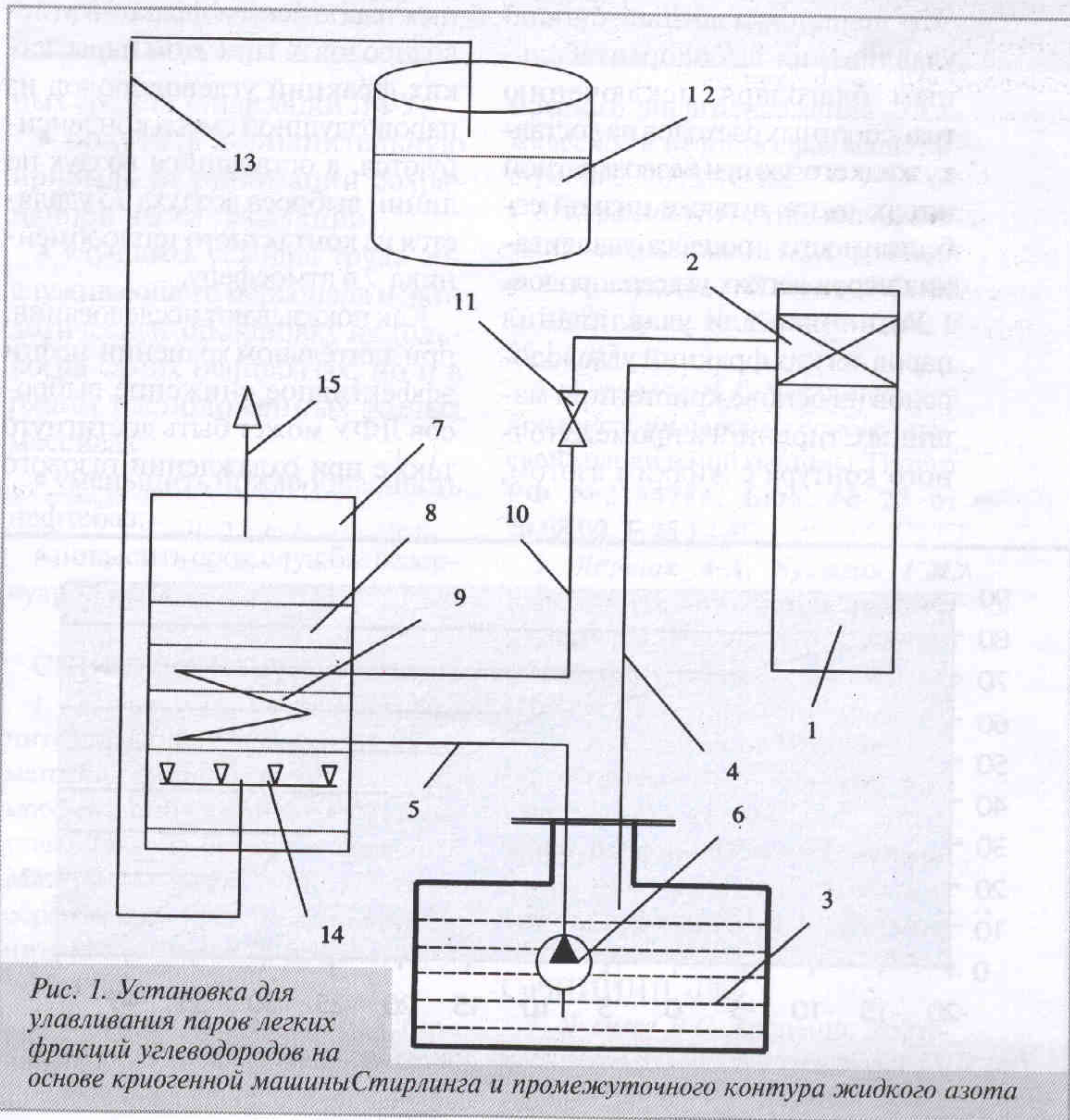
ферном давлении весь спектр легких углеводородов. Эффективность применения низкотемпературных машин Стирлинга для охлаждения и конденсации газообразных углеводородов доказана многолетней эксплуатацией систем реконденсации на зарубежных многоцелевых газозаводах типов «Pythagore», «Teviot», «Lincoln Ellsworth», «Thales», предназначенных для перевозки метана, этана, пропилена, пропана, бутана и т.д. Диапазон температур перевозки — 160...—10 °C. В качестве ожижителей газов применяли машины Стирлинга фирм Werkspoor и Philips. Установки работают в автоматическом режиме без обслуживающего персонала [2].

Низкотемпературная машина Стирлинга отечественного про-

изводства, используемая в воздухоразделительной установке ЗИФ-1002, имеет на уровне 223 К ($-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) холодопроизводительность, обеспечивающую улавливание и конденсацию паров ЛФУ нескольких крупных резервуаров с нефтепродуктами [3].

На основе Стирлинг-технологий разработано несколько типов установок по долговременному хранению нефтепродуктов (все технические решения патентуются):

- установки с непосредственным сжижением ЛФУ в низко-температурных машинах Стир-линга;
- установки с барботажем ЛФУ на основе КГМ Стирлинга и промежуточного азотного кон-тура;
- установки термостатирова-



ния газового пространства резервуаров нефтепродуктов на основе КГМ Стирлинга и азотного контура.

Принципиально новый подход к проблеме улавливания ЛФУ при хранении нефтепродуктов может быть реализован на основе разделения паровоздушной смеси благодаря конденсации паров легких углеводородов в контактном теплообменнике при барботаже паровоздушной смеси через слой охлажденного продукта с использованием в качестве охлаждающей среды жидкого азота. Ранее данный способ не применяли на практике из-за трудоемкости доставки жидкого азота к месту хранения нефтепродуктов. Применение Стирлинг-технологий позволяет решить проблему путем регенерации жидкого азота непосредственно на нефтебазе. Это делает указанный способ улавливания высокорентабельным благодаря исключению транспортных расходов на доставку жидкого азота и безвозвратной потере азота, а также низкой себестоимости процесса улавливания паров легких углеводородов.

Установка для улавливания паров легких фракций углеводородов на основе криогенной машины Стирлинга и промежуточного контура с жидким азотом.

представленная на рис. 1, работает следующим образом.

Предварительно емкость 3 заполняется расчетным количеством жидкого азота, который в процессе работы установки с помощью насоса 6 по линии подачи жидкого азота 5 направляется в охладитель 9, расположенный в слое сжиженных паров легких фракций углеводородов 8 контактного теплообменника 7. Охлаждая слой 8, жидкий азот испаряется. Его пары поступают по линии 10 через дроссельный вентиль 11 в конденсатор 2 криогенной машины Стирлинга 1. Сконденсировавшиеся пары азота самотеком сливаются из конденсатора 2 в емкость 3 по линии слива 4. Паровоздушная смесь ЛФУ из резервуара 12 по линии 13 поступает в раздаточную гребенку 14 и барботирует через слой сжиженных паров легких фракций углеводородов 8. При этом пары легких фракций углеводородов из паровоздушной смеси конденсируются, а оставшийся воздух по линии выброса воздуха 15 удаляется из контактного теплообменника 7 в атмосферу.

Как показывают исследования, при длительном хранении нефти эффективное снижение выбросов ЛФУ может быть достигнуто также при охлаждении газового

пространства резервуара [6].

Из представленного на рис. 2 графика видно, что при температуре в газовой полости резервуара -20°C конденсируется до 80% массы испарившегося газа. В связи с этим представляет интерес создание установок для охлаждения газовой полости резервуара с нефтью [4] (рис. 3).

В состав установки входит криогенная машина Стирлинга 1 (рабочее тело — гелий), резервуар для хранения нефти 2 и замкнутый контур азота, состоящий из линии жидкого азота 3 с сосудом Дьюара 4 и насосом высокого давления 5, а также линии газообразного азота 6 с дроссельным клапаном 7, расширительной емкостью 8. Линии 3 и 6 соединяются через конденсирующий змеевик 9, расположенный в газовой полости резервуара с нефтью 2, и криогенную машину Стирлинга 1.

Установка работает следующим образом. Замкнутый азотный контур заполняется азотом с повышенным давлением. При увеличении давления испарившихся ЛФУ в резервуаре для хранения нефти 2 включают криогенную машину Стирлинга 1. При этом в конденсаторе КГМ Стирлинга сжижается азот, создавая разрежение в линии газообразного азота 6. Жидкий азот по линии 3 сливается в сосуд Дьюара 4 и насосом 5 подается в змеевик 9. Температура в газовом пространстве резервуара 2 снижается, пары ЛФУ конденсируются, и давление в газовой полости снижается до атмосферного. Испаряющийся в змеевике жидкий азот по линии 6 поступает в расширительную емкость 8 через дроссельный клапан 7, где охлаждается, а затем направляется в конденсатор КГМ машины Стирлинга 1.

В настоящее время в России и за рубежом серийно выпускает-

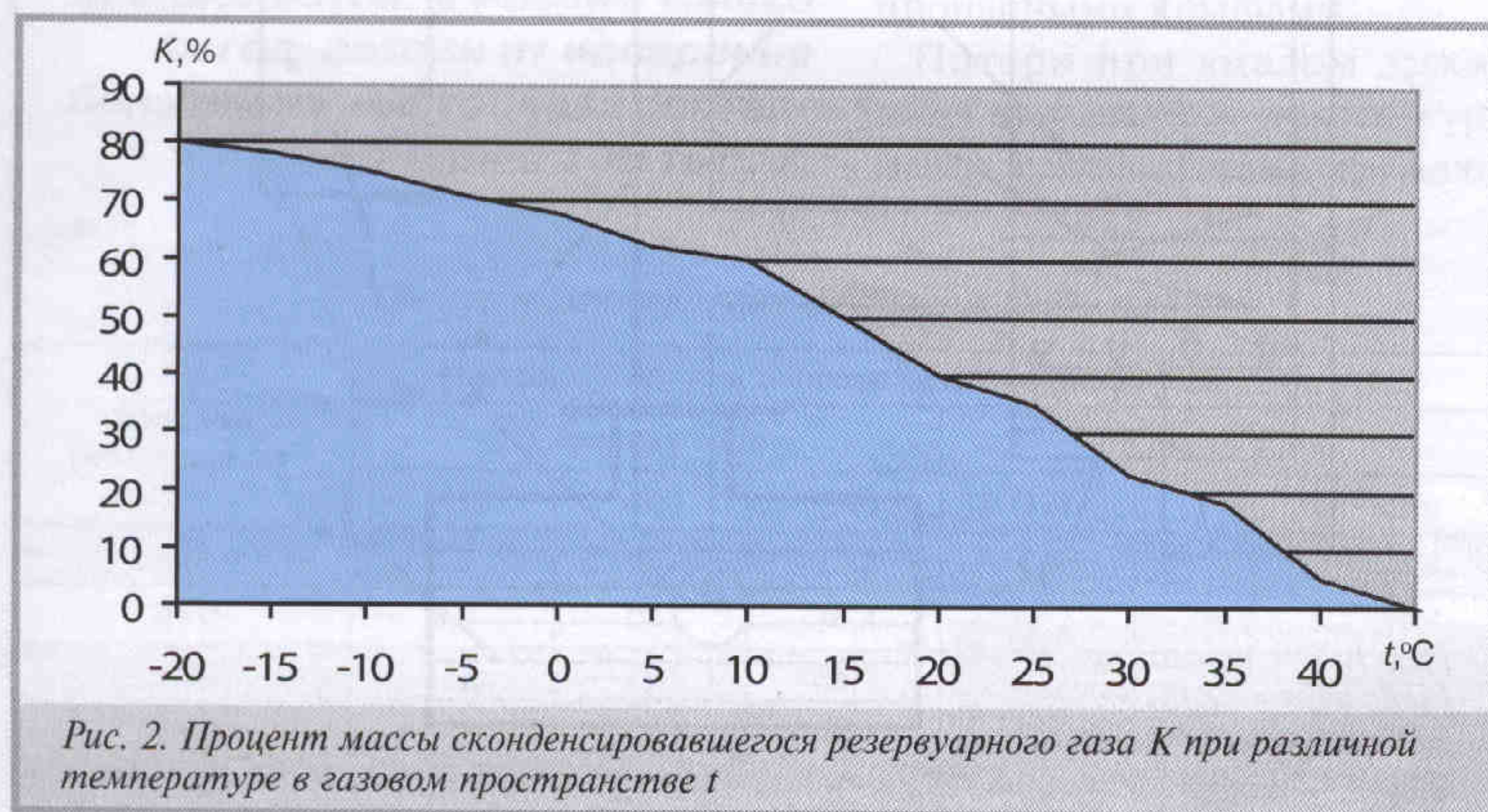


Рис. 2. Процент массы сконденсировавшегося резервуарного газа K при различной температуре в газовом пространстве t

Предварительные расчеты показали высокую экономическую и экологическую эффективность данной технологии. Результаты технико-экономического расчета приведены ниже.

Общая стоимость проекта, млн руб.	27,0
Эксплуатационные годовые расходы, млн руб.	4,19
Стоимость сэкономленных за год нефтепродуктов, млн руб.	19,08
Стоимость предотвращенных годовых штрафных санкций за выбросы ЛФУ в окружающую среду за год, млн руб	0,872
Годовой экономический эффект от внедрения системы, млн руб.	15,76
Срок окупаемости системы утилизации ЛФУ с учетом штрафных санкций за экологический ущерб, мес	20

В настоящее время разработанные автором технические решения предполагается применить на ряде объектов нефтегазового комплекса, в частности, при создании нефтяного терминала в Высоцке, нефтеперерабатывающей установки в Павлограде (Украина), на нефтебазах и АЗС Санкт-Петербурга.

- сохранить произведенные с большими затратами нефтепродукты, часть которых ранее терялась безвозвратно в связи с отсутствием современных эффектив-

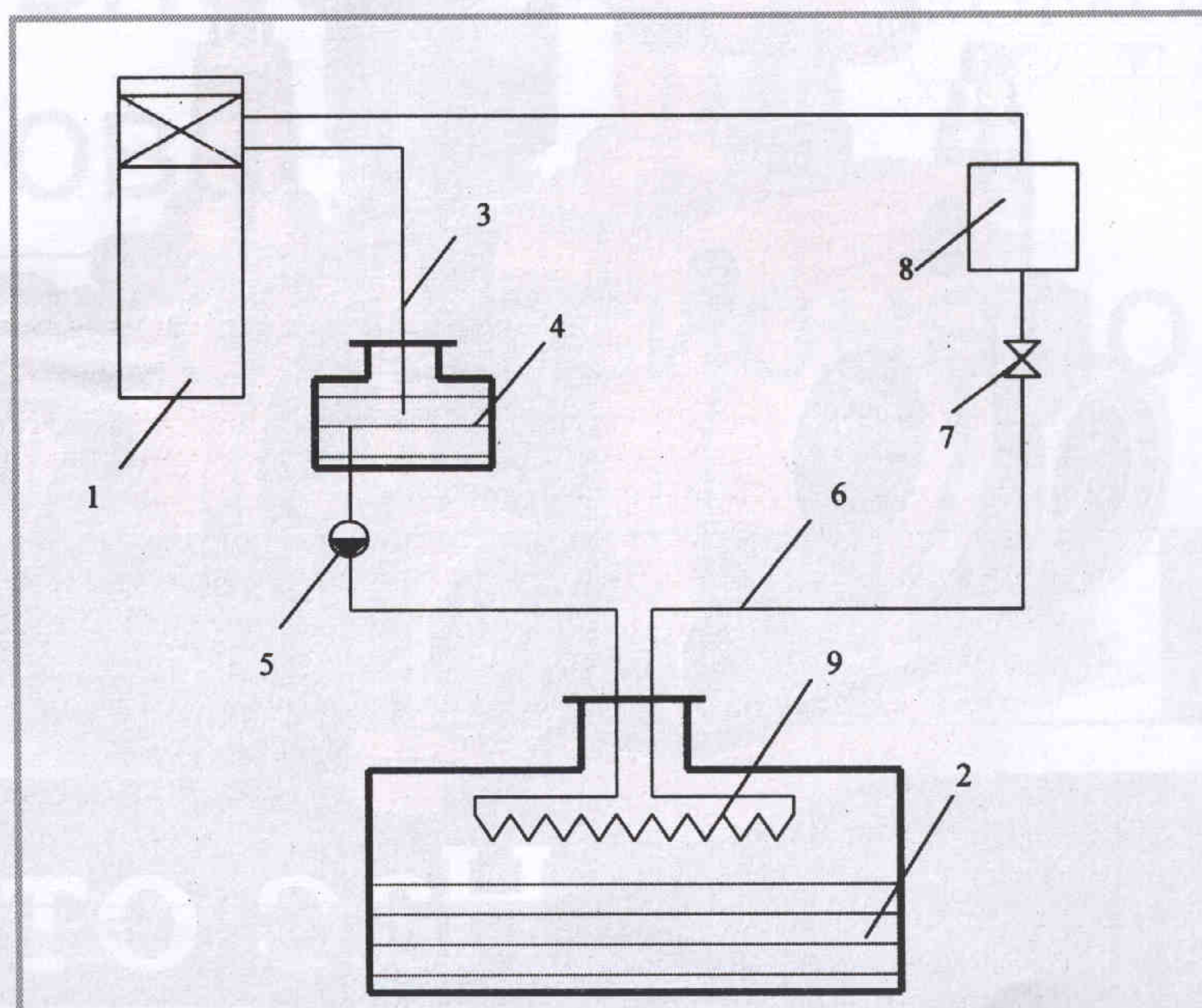


Рис. 3. Установка для охлаждения газовой полости резервуара с нефтью

- получить дополнительную прибыль от реализации сохраненной части продукции;

- уменьшить пожароопасность нефтебаз;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

2. Кириллов Н.Г. Машины Стирлинга для высокоэффективных и экологически чистых систем авто-

3. Кириллов Н.Г. Стирлинг-система по сжижению легких фракций углеводородов. Патент РФ № 2157488. Бюл. № 28 от 10.10.00, F 25 J 1/02.

4. Кириллов Н.Г. Установка для конденсации паров на основе гелиевой холодильной машины. Патент РФ №2154784, Бюл. № 23 от 20.08.00, F 25 J 1/02.

5. Коршак А.А, Бусыгин Г.Н. К выбору средств сокращения выбросов паров бензина из резервуаров в атмосферу// Тезисы докладов на III Конгрессе нефтегазопромышленников России. — Уфа, 2001.

6. Сорокин А.В., Сорокин В.Д. Особенности конденсации резервуарных газов // Основные направления научно-исследовательских работ в нефтяной промышленности Западной Сибири. — Тюмень: СибНИИНП, 1997.

7. Яковлев В.С. Хранение нефтепродуктов. Проблемы защиты окружающей среды. — М.: Химия, 1987.