РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА (НИУ) имени И. М. ГУБКИНА

МАСЛА ДЛЯ ВИНТОВЫХ ГАЗОВЫХ И ХОЛОДИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ

СЕМЕНОВ НИКИТА АЛЕКСАНДРОВИЧ

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, ДОЦЕНТ БАГДАСАРОВ Л.Н.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

- 1. Полное отсутствие холодильных масел отечественного производства, совместимых с современными типами хладагентов, приводит к необходимости разработки таких масел [1,2].
- 2. С развитием химической промышленности появились вещества, которые можно использовать в качестве базовых масел для производства компрессорных масел, не абсорбирующих углеводородные газы. Это привело к необходимости сравнения абсорбционной способности компрессорных масел различного состава по отношению к легким углеводородам. [3]

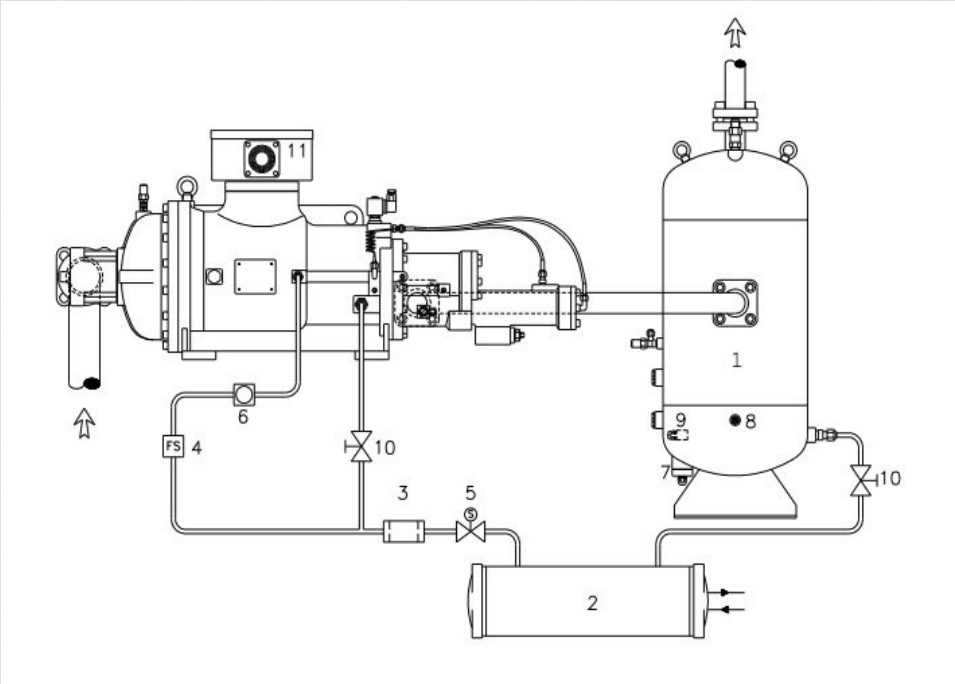
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ РАБОТЫ

- Цель работы – оценка абсорбционной способности базовых масел различного состава по отношению к легким углеводородам и перспективным фреонам.
- Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:
- - анализ современного состояния производства и применения масел для газовых компрессоров, в том числе холодильных;
- - разработка лабораторного метода оценки абсорбционной способности базовых масел по отношению к легким углеводородам;
- - разработка на основе отечественных компонентов масел для газовых и холодильных компрессоров.

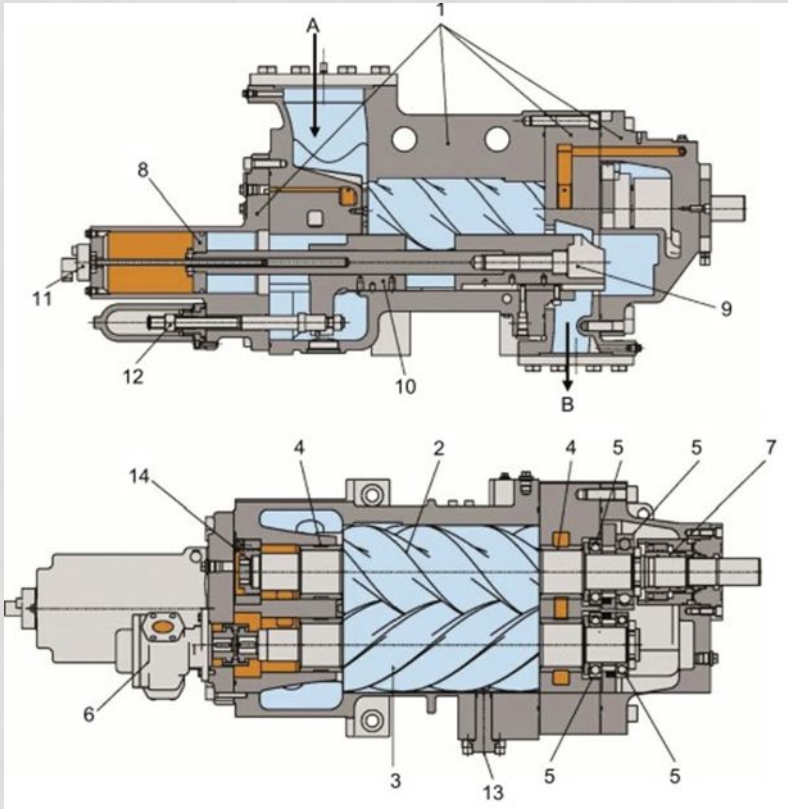
ПОЛОЖЕНИЯ ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

- - разработанные рецептуры компрессорных масел;
- - разработанные рецептуры холодильных масел;
- - влияние химической структуры компонентов компрессорных масел на абсорбцию легких углеводородов.

СИСТЕМА СМАЗКИ И УСТРОЙСТВО ВИНТОВОГО БЛОКА КОМПРЕССОРА



Принципиальная схема системы смазки винтового маслозаполненного компрессора.
1 – маслоотделитель, 2 – маслоохладитель, 3 – фильтр, 4 – перепускной клапан, 5 – регулирующий клапан, 6 – смотровое стекло, 7 – датчик уровня масла, 8 – датчик температуры масла, 9 – маслоподогреватель, 10 – запорная арматура, 11 – компрессор.

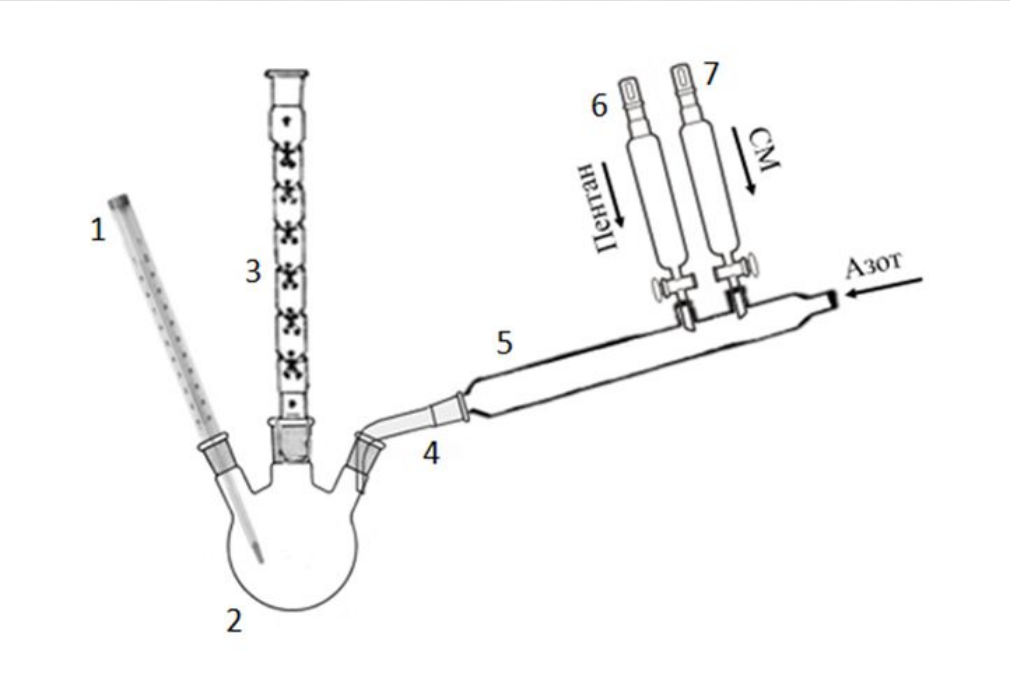


Устройство винтового блока компрессора
1 - корпус, 2 – ведущий ротор, 3 – ведомый ротор, 4 – радиальный подшипник, 5 – аксиальный подшипник, 6 – масляный насос, 7 – уплотнение, 8 – поршень, 9 – разгрузочный клапан, 10 – ползун, 11– датчик положения загрузки, 12 – винт, 13 – ввод масла, 14 – балансировочный поршень

ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОМПРЕССОРНЫМ МАСЛАМ

- термическая стабильность - масло не должно изменять свои характеристики при рабочих температурах;
- предотвращение образования кокса и смолистых отложений;
- уровень вязкости, необходимый для снижения интенсивности изнашивания и герметизации зазоров;
- хорошие противопенные свойства, для исключения работы компрессора в режиме помпажа;
- инертность к перекачиваемой среде.

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ АБСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КОМПРЕССОРНЫХ МАСЕЛ



Упрощенная схема лабораторной установки для определения абсорбционной способности
1 – термометр, 2 – трехгорлая колба, 3 – дефлегматор, 4 – аллонж, 5 – насадочная колонка, 6,7 – делительные воронки.

Абсорбционная способность компрессорных масел – это количество абсорбированного маслом пентана за одно определение.

Коэффициент расхода сырья – отношение расхода подачи азота на масло к расходу подачи азота на пентан.

АБСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ УГЛЕВОДОРОДНЫХ МАСЕЛ

Наименование	Температура в колбе, °С	Коэффициент расхода сырья	Содержание пентана, % масс.
И-20А	25	1,52	5,6
И-20А	50	1,32	6
Брайтсток	25	1,58	9,2
Брайтсток	50	1,35	11,4
VHVI-4	25	1,32	5,7
VHVI-4	50	1,46	9,1
РАОМ-4	25	1,65	5,5
РАОМ-4	50	1,52	4,1
РАОМ-6	25	1,65	11,3
РАОМ-6	50	1,61	10,7
РАОМ-12	25	1,51	6,5
РАОМ-12	50	1,48	8,4

АБСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

Наименование	Температура процесса, °С	Коэффициент расхода сырья	Содержание пентана, % масс.
ДИНФ	25	1,60	8,9
ДИНФ	50	1,36	4,8
ДОТФ	25	1,56	5,8
ДОТФ	50	1,46	6
Неонол АФ-9-12	50	1,51	1,3

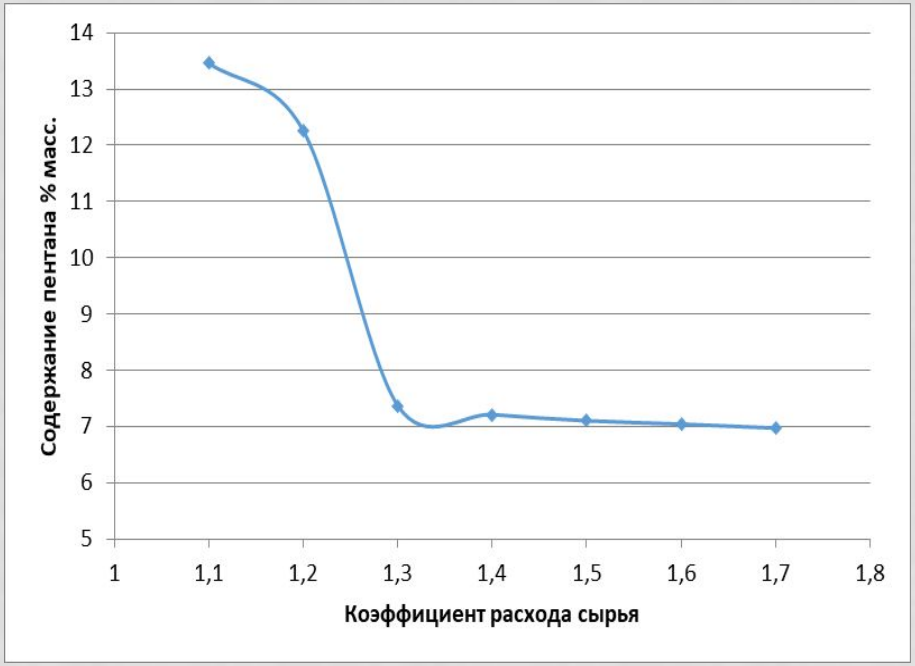
АБСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЛИАЛКИЛЕНГЛИКОЛЕЙ

Наименование	Температура процесса, °С	Коэффициент расхода сырья	Содержание пентана, % масс.
ПЭГ-400	25	1,71	1,6
ПЭГ-400	50	1,70	1,9
Диэтиленгликоль	25	1,45	2,8
Диэтиленгликоль	50	1,51	2,7
Компреол НГ-68	25	1,49	1,82
Компреол НГ-68	50	1,55	1,68
ТЭГ+Полинор РЕ 250 (68)	50	1,85	1,66
ТЭГ+Полинор РЕ 250 (100)	50	1,85	1,91
ТЭГ+Полинор РЕ 250 (220)	50	1,89	2,4
ТЭГ+Полинор РЕ 250 (500)	50	1,68	1,61
ПАГ А-150	50	1,28	0,53
ПАГ В-150	50	1,23	0
ПАГ С-150	50	1,21	0
ПАГ D-150	50	1,47	0,1
ПАГ Е-150	50	1,65	0,21
ПАГ R-150	50	1,33	0,42

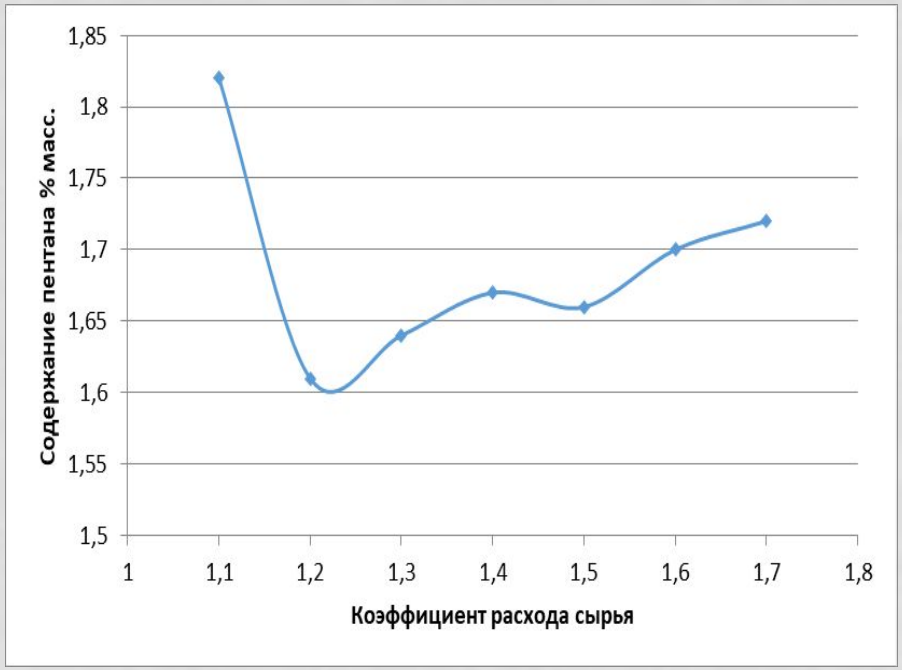
АБСОРБЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ СМЕСЕЙ ТЭГ И POLYNOR PE-250

Жидкость	**Коэффициент расхода сырья**	**Содержание пентана, % масс.**
ТЭГ+Полинор (68)	1,85	1,66
ТЭГ+Полинор (100)	1,85	1,91
ТЭГ+Полинор (220)	1,89	2,4
ТЭГ+Полинор (500)	1,68	1,61

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА РАСХОДА СЫРЬЯ НА АБСОРБЦИОННУЮ СПОСОБНОСТЬ

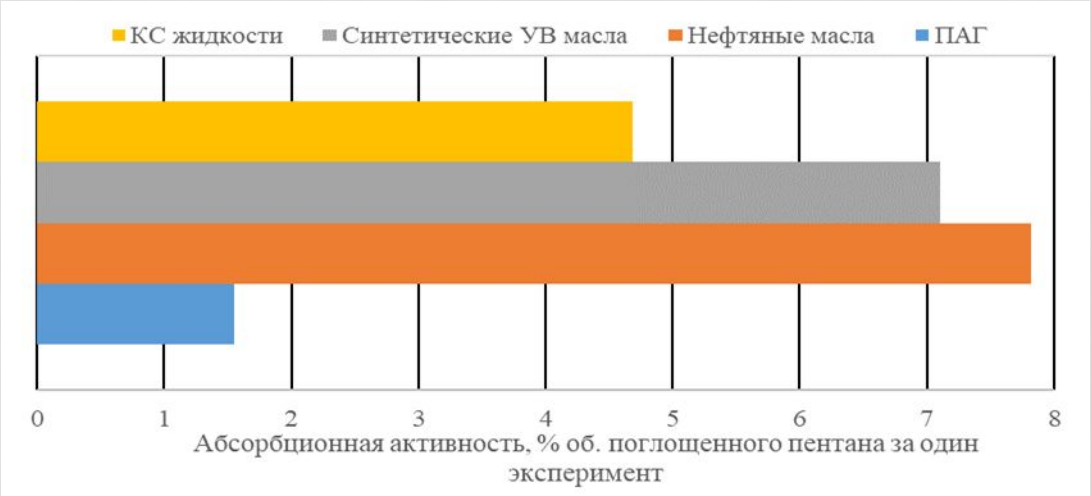


Влияние коэффициента расхода сырья на абсорбционную способность масла «Компреол С».



Влияние коэффициента расхода сырья на абсорбционную способность масла «Компреол НГ-68»

СРАВНЕНИЕ АБСОРБЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП МАСЕЛ ПО ОТНОШЕНИЮ К ЛЕГКИМ УГЛЕВОДОРОДАМ



1.Разработан лабораторный метод оценки абсорбционной способности различных групп компрессорных масел. Дальнейшее развитие метода будет основываться на накоплении большего массива данных и их сравнении с результатами, полученными при испытании масел на компрессорах.

2.Полиалкиленгликолевые масла с высоким содержанием этиленоксидных групп в составе являются перспективным компонентом компрессорных масел, так как обладают низкой абсорбционной способностью по отношению к легким углеводородам.

3.Количество абсорбированных легких углеводородов возрастает с увеличением скорости циркуляции полиалкиленгликолевых масел, и снижается при увеличении скорости циркуляции углеводородных масел. Подробное изучение данной зависимости поможет найти оптимальные скорости циркуляции компрессорных масел в маслосистеме компрессора.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРОКОМПРЕССИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ МАШИНЫ

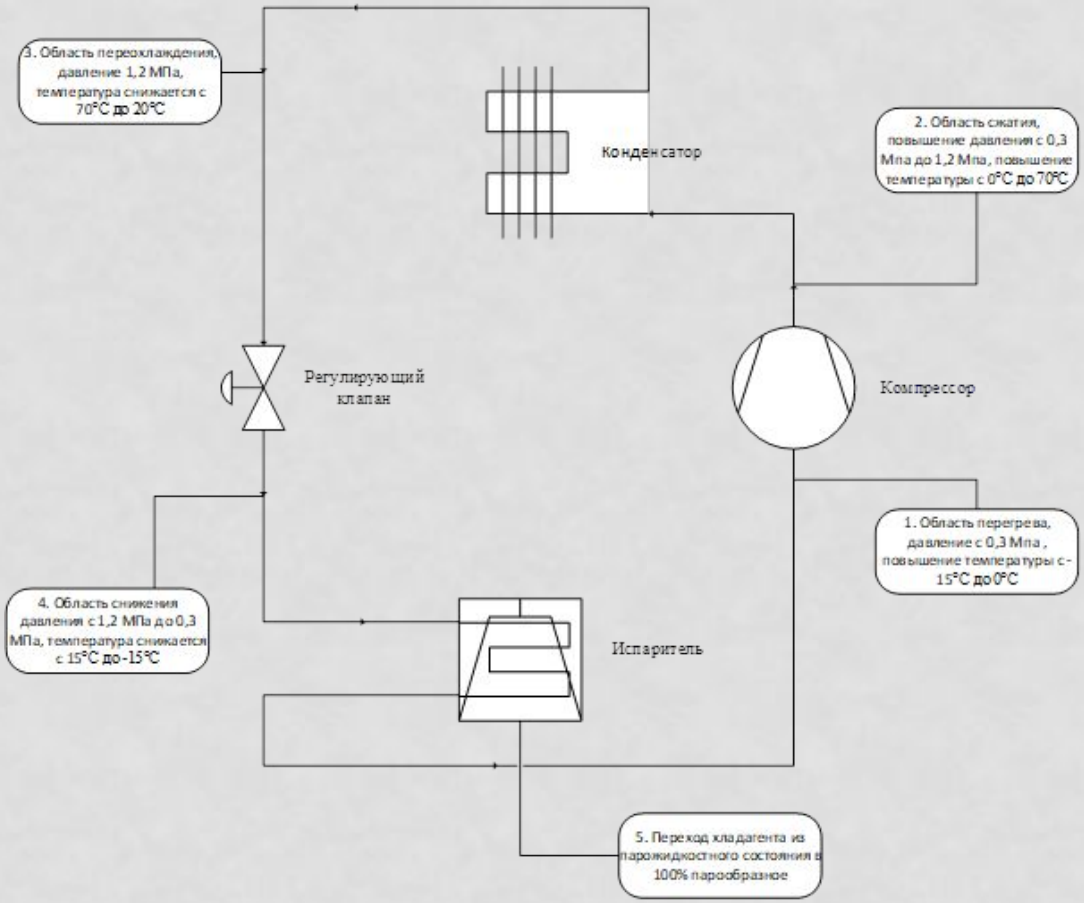


Схема работы парокомпрессионной холодильной машины

КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЛОГЕНСОДЕРЖАЩИХ ХЛАДАГЕНТОВ

Классификация хладагентов по уменьшению степени вреда для окружающей среды:

- CFC - хлорсодержащие углеводороды, особо вредные для окружающей среды;
- HCFC - хлорфторсодержащие углеводороды;
- HFC - фторсодержащие углеводороды;
- HFO - фторсодержащие углеводороды на базе олефинов, наименее вредные для окружающей среды.

СОВМЕСТИМОСТЬ ХЛАДАГЕНТОВ И МАСЕЛ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Тип хладагента	Тип холодильного масла
CFC	Нефтяные масла, алкилбензольные масла, сложноэфирные масла
HCFC	Нефтяные масла, алкилбензольные масла, сложноэфирные масла
HFC	Поливиниловые эфиры, полиалкиленгликоли, сложноэфирные масла
HFO	Поливиниловые эфиры, полиалкиленгликоли, сложноэфирные масла

ТРЕБОВАНИЯ ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ХОЛОДИЛЬНЫМ МАСЛАМ

- химическая и термическая стабильность;
- совместимость с конструкционными материалами компрессоров;
- высокая теплопроводность;
- совместимость с хладагентом;
- хорошие противоизносные характеристики;
- отличные низкотемпературные свойства.

ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШИВАЕМОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАСЕЛ И ХЛАДАГЕНТОВ

PAG Klimaanlagenoil 46 с R-134a

Триэтиленгликоль с R-134a

Смешиваемость ДИНФ с R-134a

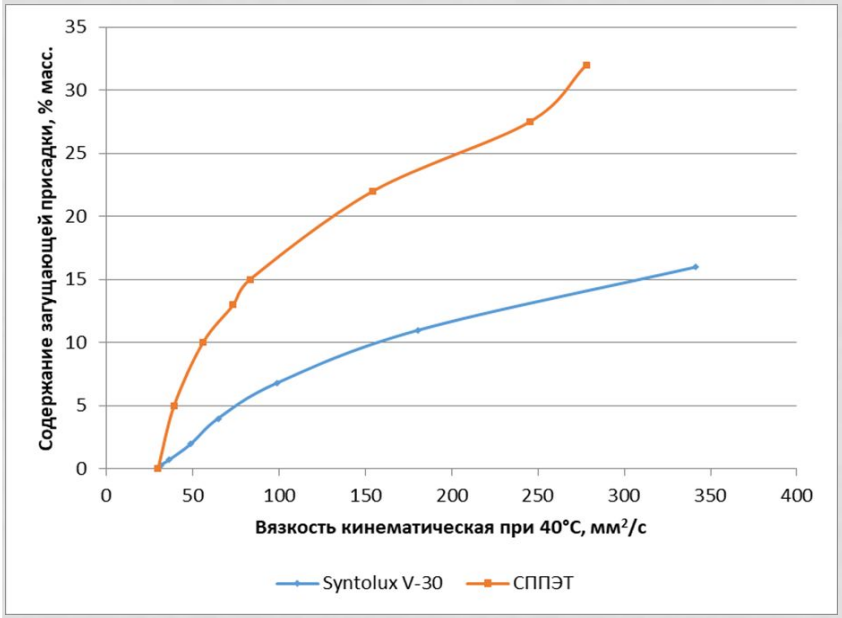
ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕШИВАЕМОСТИ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАСЕЛ И ХЛАДАГЕНТОВ

Чистый ДОТФ (для сравнения)

ДОТФ с R-134a

FUCHS PAG 46 с R-134a

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГУЩАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ВЯЗКОСТНЫХ ПРИСАДОК ПО ОТНОШЕНИЮ К СЛОЖНОЭФИРНЫМ ХОЛОДИЛЬНЫМ МАСЛАМ



Сравнение загущающей способности Syntolux V-30 и СППЭТ в смеси с сложным эфиром бензолдикарбоновой кислоты.

Зависимость температуры застывания от содержания загущающей присадки.

Syntolux V-30		СППЭТ	
Содержание присадки, % масс.	Температура застывания, °С	Содержание присадки, % масс.	Температура застывания, °С
0,3	-50	5	-45
0,7	-50	10	-42
2	-50	13	-38
4	-50	15	-37
6,8	-50	22	-32
11	-48	27,5	-27
16	-46	32	-25

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАСЕЛ НА ОСНОВЕ ДОТФ И SYNTOLUX V-30

Наименование	Диаметр пятна износа, мм
Fuchs SEZ POE 55	0,29
Сложный эфир бензолдикарбоновой кислоты + Syntolux V-30 (55 класс вязкости по ISO)	1,1
Сложный эфир бензолдикарбоновой кислоты + Syntolux V-30 (55 класс вязкости по ISO) с добавлением 2% ТКФ.	0,3
Fuchs POE 80	0,27
Сложный эфир бензолдикарбоновой кислоты + Syntolux V-30 (80 класс вязкости по ISO)	0,97
Сложный эфир бензолдикарбоновой кислоты + Syntolux V-30 (80 класс вязкости по ISO) с добавлением 2% ТКФ.	0,29

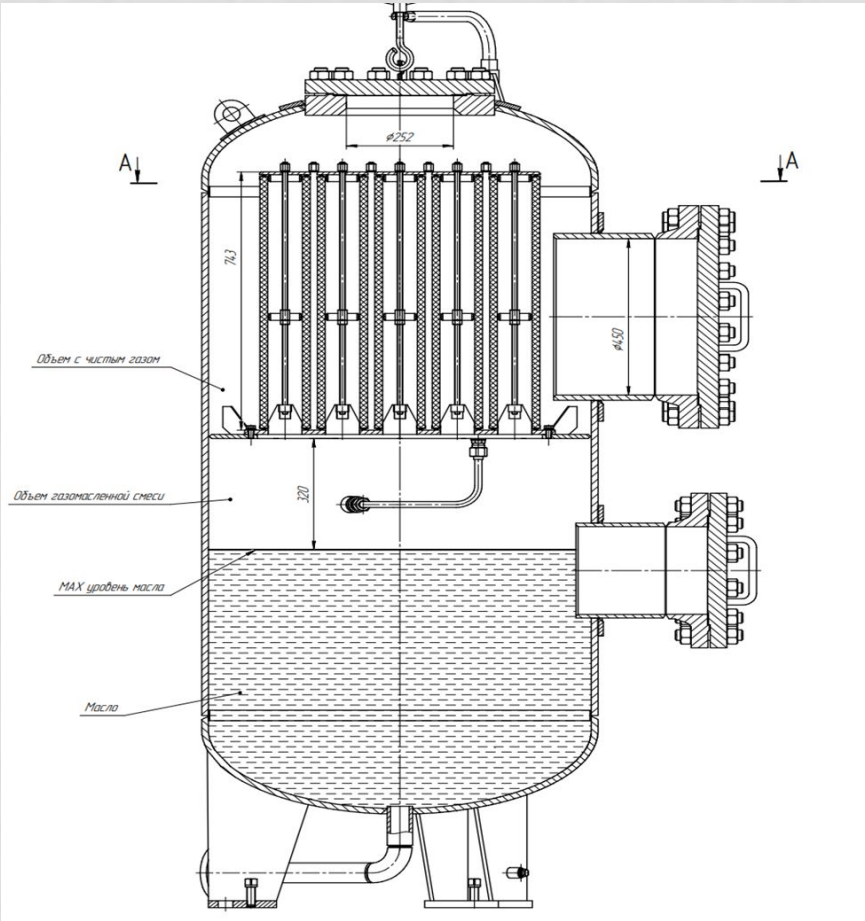
ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАСЕЛ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Наименование	Смешиваемость	Выпадение осадка
Fuchs SEZ 32	Полная	Осадок не наблюдается
Fuchs SEZ 68	Полная	Осадок не наблюдается
Fuchs SE 170	Полная	Осадок не наблюдается
Emkarate RL 68H	Полная	Осадок не наблюдается
Suniso SL 32	Полная	Осадок не наблюдается
Bitzer BSE 32	Полная	Осадок не наблюдается
Bitzer BSE 170	Полная	Осадок не наблюдается

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАСЕЛ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ

1. Произведена оценка свойств разрабатываемых холодильных масел влияющих на эксплуатацию компрессоров холодильных систем.
2. Оценена возможность использования загустителей различного строения для получения холодильных масел различных классов вязкости.
3. Исследованы смазочные свойства разрабатываемых и зарубежных холодильных масел. Предложено использование ТКФ в качестве противоизносной присадки.
4. Проверена совместимость разрабатываемого масла с образцами зарубежных холодильных масел.

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ВИНТОВЫХ ГАЗОВЫХ КОМПРЕССОРОВ



Эскиз маслоотделителя винтового газового компрессора «Пензакомпрессормаш»

Состав попутного нефтяного газа (в мольных долях)

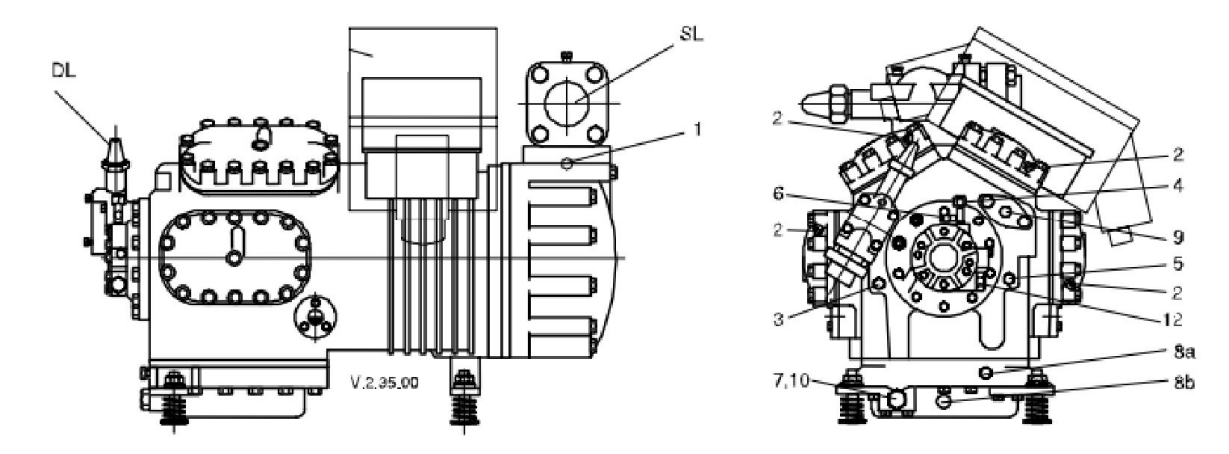
Nitrogen	0,0010
CO2	0,0092
Methane	0,3770
Ethane	0,1915
Propane	0,2795
i-Butane	0,0607
n-Butane	0,0619
i-Pentane	0,0087
n-Pentane	0,0058
n-Hexane	0,0008
n-Heptane	0,0001
H2O	0,0010
Metanol	0,0028

РЕЦЕПТУРА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗРАБОТАННОГО КОМПРЕССОРНОГО МАСЛА И СРАВНЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

- Рецептура разработанного масла:
- Триэтиленгликоль – 32% об.
- Неонол АФ-9-12 – 68% об.

Показатели	Разработанное масло	Газпром F-Synth 68	CPI-1505-68	CPI-1507-68	CPI 1515-68	CPI 1516-68	Klüber SummitPGI 68	Klüber SummitPGS 68
Класс вязкости ISO VG	68	68	68	68	68	68	68	68
Плотность при 20,0°С, г/мл	1,09	0,865	1,05	1,135	1,028	0,986	0,992	1,042
Индекс вязкости	140	145	221	168	238	168	172	200
Кинематическая вязкость, мм^2/с:								
при 40°С	68,3	68	66,8	68,1	67,6	68,7	68,3	68,1
при 100°С	10,5	10,4	14,1	10,8	14,7	10,8	12,7	13,5
Температура вспышки, °С	180	246	226	231	224	218	220	230
Температура воспламенения, °С	190	-	240	241	232	240	237	245
Температура застывания, °С	-40	-40	-57	-48	-43	-48	-39	-42

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН



Эскиз полугерметичного компрессора Copeland D8S
1,2 – Заглушка 3 – Заправка маслом 4,5 – Реле контроля смазки 6 – Датчик давления масла 7 – Масляный фильтр 8a – Нагревателя картера 8b – Гильза нагревателя картера 9 – Монтажное соединение 10 – Магнитная заглушка 11 – Монтажные отверстия 12 – Соединение датчика

Перекачиваемый газ: R-404a.
Состав перекачиваемого газа:
R143A (1,1,1-Трифторэтан) – 52% масс.,
R134A (1,1,1,2-тетрафторэтан) – 4% масс.,
R125A (пентафторэтан) – 44 % масс..

РЕЦЕПТУРА, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗРАБОТАННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО МАСЛА И СРАВНЕНИЕ С ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

- Рецептура разработанного масла:
- Сложный эфир бензолдикарбоновой кислоты -99,7% масс.
- Syntolux V-30 – 0,3% масс.

Наименование показателя	Разработанное масло	RENISO TRITON SEZ 32	Bitzer BSE32	Emkarate RL 32H	Climalife HQ-POE 32	IDEMITSU Daphne Hermetic Oil FVC32D
Плотность при 20,0°С, г/мл	0,982	1,004	1,011	0,997	0,977	0,925
Вязкость при 40°С, $мм^2/с$	31,09	32	33,5	32,5	32,5	32,4
Вязкость при 100°С, $мм^2/с$	5,15	6,1	6,2	5,8	5,8	5,12
Индекс вязкости	138	141	136	122	120	78
Содержание воды, ppm	400	240	300	300	300	150
Температура застывания, °С	-55	-57	-54	-46	-46	-48
Температура вспышки, °С	215	250	250	258	258	178

ВЫВОДЫ

- **Теоретическая значимость работы** - установлена закономерность изменения абсорбционной способности компрессорных масел по отношению к легким углеводородам в зависимости от химического состава базовых масел.
- **Практическая значимость работы:**
- разработаны и испытаны в промышленности компрессорные масла, рекомендованные для применения в винтовых компрессорах для перекачки углеводородных газов с высоким содержанием тяжелых углеводородов (пропан, бутаны и пентаны), не уступающие по качеству зарубежным аналогам;
- разработаны и испытаны в промышленности холодильные масла, рекомендованные для применения в холодильных системах, работающих на хладагентах класса HFC, не уступающие по качеству зарубежным аналогам.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ

- установлено, что полиалкиленгликолевые масла высокой плотности на основе окиси этилена обладают самой низкой абсорбционной способностью по отношению к легким углеводородам по сравнению с другими компрессорными маслами;
- впервые обоснована возможность использования сложных эфиров бензолдикарбоновых кислот в качестве основы для производства холодильных масел различных классов вязкости;
- установлена частичная смешиваемость сложных эфиров бензолдикарбоновых кислот с хладагентом R-134a.

ССЫЛКИ

- 1. Дубровин Ю.Н. Холодильная отрасль России — проблемы и пути их решения, «Империя холода» №2, 03.2016.
- 2. Тонконогов Б.П. Производство и применение синтетических смазочных материалов/ Тонконогов Б. П., Заворотный В.А., Цветков О.Н., Багдасаров Л.Н., Килякова А.Ю. // – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. – с. 100-104.
- 3. J.J. Schulthess THESIS, RECIPROCATING COMPRESSOR LUBRICATION – LUBRICANT DILUTION WITH NATURAL GAS SPECIES AND THE IMPACT ON LUBRICATION RATES AT VARIOUS OPERATING CONDITIONS Colorado State University, 2021.