



ПАО «Газпром»

Российский государственный университет  
нефти и газа имени И. М. Губкина  
(Национальный исследовательский  
университет)



---

**Презентационные материалы  
онлайн-курса  
«Основные технологические процессы  
Downstream-сектора нефтегазового  
комплекса»**

**Название раздела дисциплины**  
**«Нефтегазовое товароведение»**  
**Первый академический час (бензины)**

## Автомобильные бензины

Автомобильные бензины – это углеводородные топлива, полученные смешением различных компонентов – продуктов переработки нефти и газа, а также продуктов нефтехимического синтеза

Главный показатель качества бензинов – теплотворная способность

При сгорании бензина в двигателе происходит окисление углеводородов кислородом воздуха по следующей реакции (на примере гексана):



При этом теплотворная способность составляет при окислении

углерода - 8000 ккал/кг,

водорода – 33730 ккал/кг

Таким образом – чем больше в бензине водорода, тем он лучше

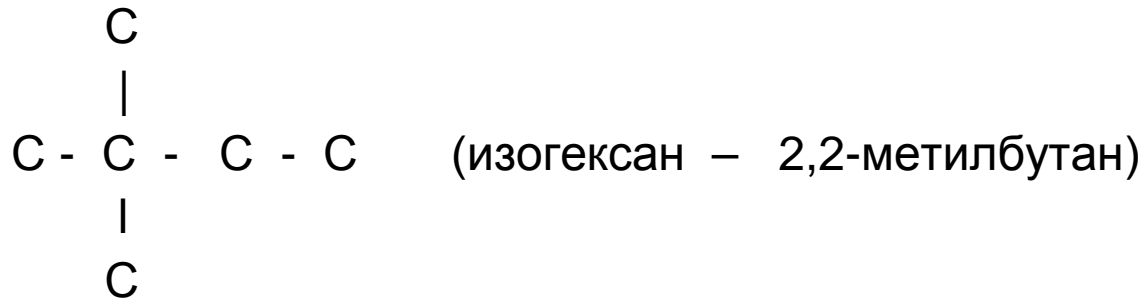
## Соотношение водород/углерод в бензинах

В бензинах содержатся углеводороды следующих типов:

Алканы – насыщенные водородом углеводороды состава  $C_nH_{2n+2}$ ,  
Подразделяются на нормальные алканы, имеющие линейное строение  
углеродного скелета молекул, например



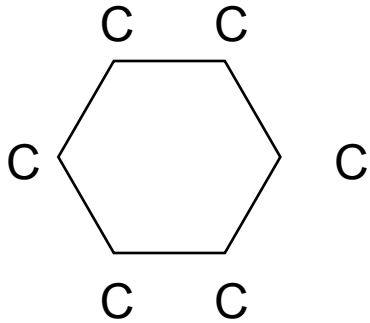
и алканы разветвленные (изо-алканы)



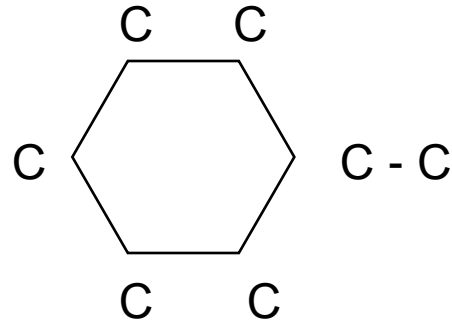
Алканы максимально насыщены водородом и имеют высокую  
теплотворность

## Соотношение углерод/водород в бензинах

В бензинах содержатся также циклоалканы: циклопентан и циклогексан, а также их гомологи, имеющие боковые цепи:



Циклогексан

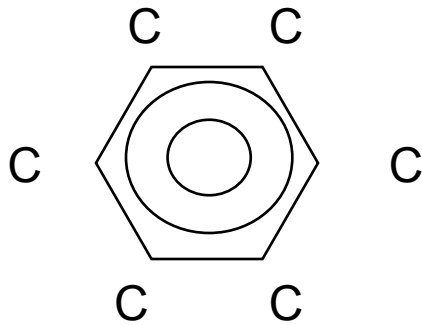


Метилциклогексан

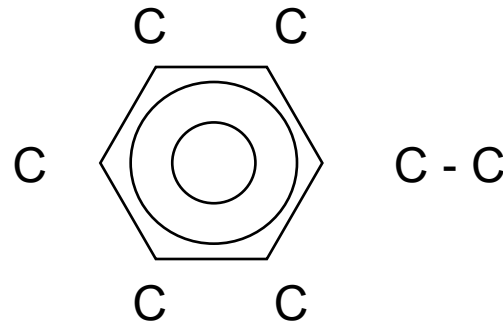
Циклоалканы содержат несколько меньше водорода, чем алканы

## Соотношение водород/углерод в бензинах

Бензины содержат также арены (ароматические углеводороды)



Бензол



Толуол

Содержание водорода в аренах минимальное и они обладают низкой теплотворной способностью (близкой к углероду)

## Назначение бензинов

Бензины применяются в качестве топлив для поршневых двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением

Такие двигатели устанавливаются на автомобили и на летательные аппараты небольших размеров, соответственно бензины разделяют на автомобильные и авиационные

Всего в мире насчитывается свыше 700 млн. автомобильных бензиновых двигателей и свыше 300 тыс. авиационных

Развитие двигателестроения идет в направлении увеличения топливной экономичности и снижения выбросов в атмосферу

Снижение расхода бензина достигается за счет увеличения степени сжатия двигателей, а это требует увеличения детонационной стойкости бензинов (увеличения октанового числа)

Экологические характеристики бензиновых двигателей улучшаются за счет улучшения качества бензинов и установки каталитических систем дожигания

## Требования к бензиновым двигателям

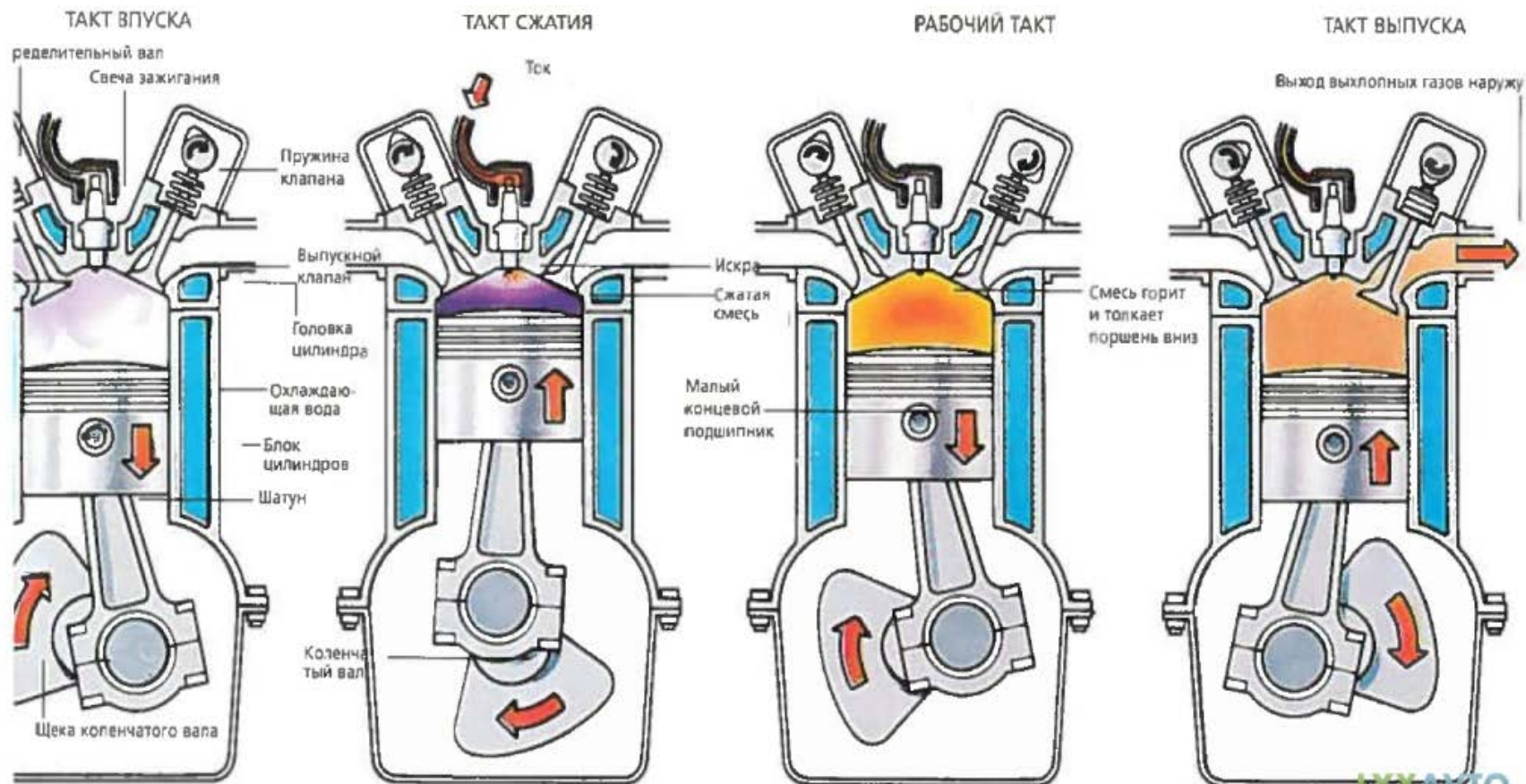
Нормы	Предельно допустимые выбросы, г/км				
	СО	СН/NO <sub>x</sub>	Ненасыщ. углеводород	Формаль- дегиды	Твердые частицы
Евро-1, 1993 г.	2,72	0,97	-	-	-
Евро-2, 1996 г.	2,00	0,50	-	-	-
Евро-3, 1999 г.	1,00	0,1/0,1	-	-	-
Евро-4, 2005 г.	0,50	0,1/0,1	0,025	0,005	0,025
Евро-5, 2009 г.	0,35	0,05/0,1	0,020	0,001	0,020



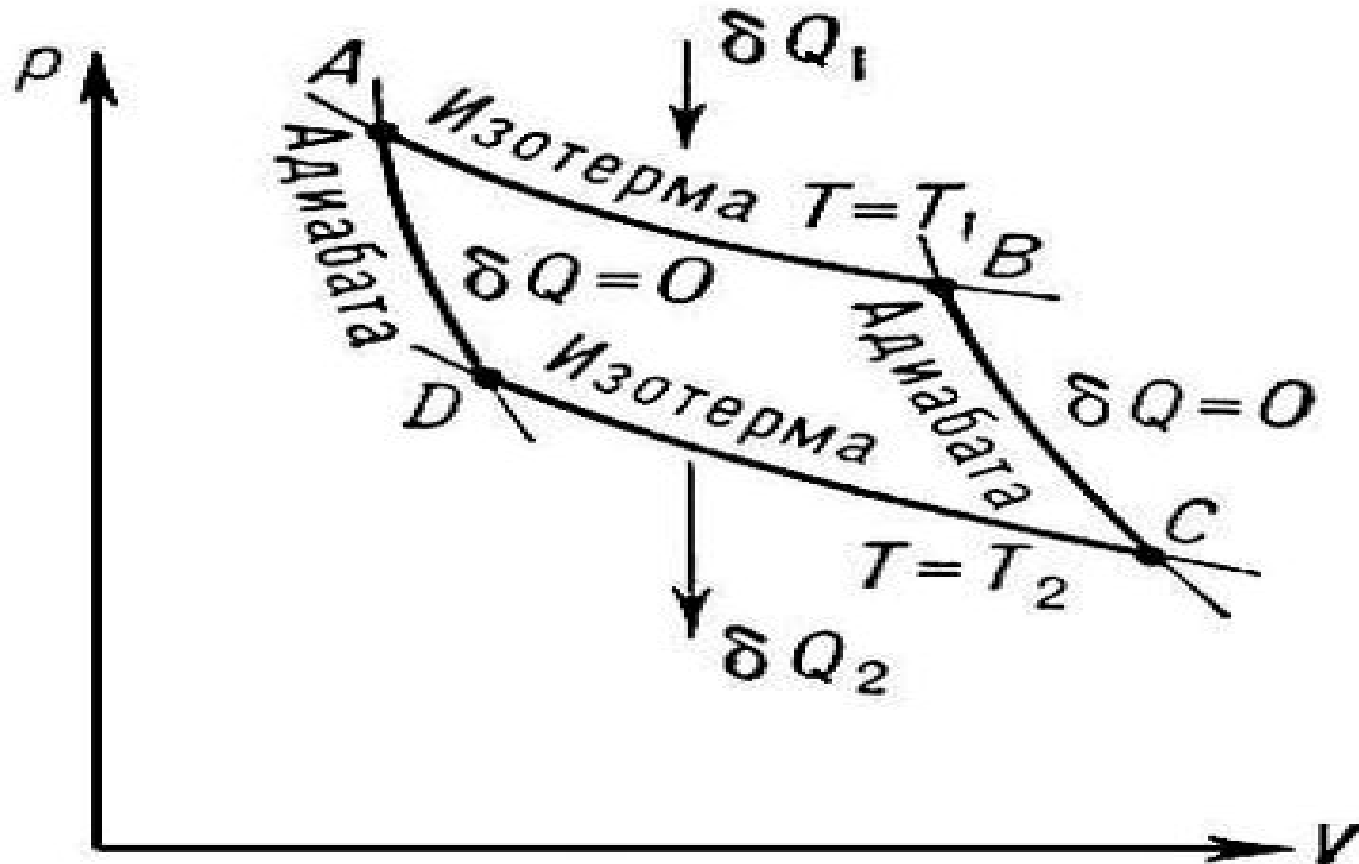
## Потребление автомобильных бензинов на душу населения в 2014 году

Страна	Потребление автомобильного бензина, тыс.т. в год	Население, миллионов человек	Потребление в тоннах на человека в год	Доля в мировом потреблении, %
США	374100	337,42	1,110	37,52
Япония	37500	124,45	0,302	3,76
Германия	34200	79,36	0,431	3,43
Россия	33500	142,52	0,230	3,36
Великобритания	22700	58,00	0,391	2,28
Франция	18200	57,53	0,316	1,82
Италия	17000	57,75	0,294	1,71
Испания	8200	39,14	0,209	0,82
Швеция	4000	8,69	0,460	0,40
Швейцария	3600	6,88	0,524	0,36
Голландия	3200	15,18	0,211	0,32
Турция	3200	56,47	0,057	0,32
Бельгия	2600	9,97	0,261	0,26
Австрия	2500	7,91	0,316	0,25
Греция	2200	10,31	0,213	0,22
Финляндия	1800	5,07	0,355	0,18
Дания	1600	5,17	0,309	0,16
Норвегия	1500	4,29	0,350	0,15
Португалия	1400	9,85	0,142	0,14
Ирландия	880	3,53	0,250	0,09
Люксембург	490	0,38	1,295	0,05
<b>Итого</b>	<b>574370</b>	<b>963,36</b>	<b>0,604</b>	<b>58,00</b>
Китай	127600	1374,58	0,093	13,00
<b>Весь мир</b>	<b>997000</b>	<b>7157,46</b>	<b>0,139</b>	<b>100,00</b>

## Схема работы четырехтактного бензинового двигателя



# Цикл Карно



# Требования технического регламента к автомобильным бензинам

Характеристики автомобильного бензина	Единица измерения	Нормы в отношении			
		класса 2	класса 3	класса 4	класса 5
Массовая доля серы, не более	мг/кг	500	150	50	10
Объемная доля бензола, не более	процентов	5	1	1	1
Концентрация железа, не более	мг/дм <sup>3</sup>	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Концентрация марганца, не более	мг/дм <sup>3</sup>	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Концентрация свинца, не более	мг/дм <sup>3</sup>	отсутствие	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Массовая доля кислорода, не более	процентов	-	2,7	2,7	2,7
Объемная доля углеводородов, не более:	процентов				
ароматических		-	42	35	35
олефиновых		-	18	18	18
Октановое число:	-				
по исследовательскому методу, не менее		92	95	95	95
по моторному методу, не менее		83	85	85	85
Давление паров, не более:	кПа				
в летний период		-	45 - 80	45 - 80	45 - 80
в зимний период		-	50 - 100	50 - 100	50 - 100
Объемная доля оксигенатов, не более:	процентов				
метанола		-	отсутствие	отсутствие	отсутствие
этанола		-	5	5	5
изопропанола		-	10	10	10
третбуанола		-	7	7	7
изобутанола		-	10	10	10
эфиров, содержащих 5 или более атомов углерода в молекуле		-	15	15	15

## Мощности по переработке нефти в РФ, тыс. т

Предприятия		Установленная мощность на 01.01.15
1.	Ангарская НХК	10200,0
2.	Новокуйбышевский НПЗ	8800,0
3.	Сызранский НПЗ	8900,0
4.	Куйбышевский НПЗ	6680,0
5.	Ачинский НПЗ	6500,0
6.	Комсомольский НПЗ	8000,0
7.	Туапсинский НПЗ	12000,0
8.	Рязанский НПЗ	18038,0
9.	Саратовский НПЗ	7073,0
10.	ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез	13600,0
11.	ЛУКОЙЛ-Волгоградский НПЗ	11000,0
12.	ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез	17000,0
13.	Ухтинский НПЗ	3700,0
14.	Киришинефтеоргсинтез - Сургутнефтегаз	19600,0
15.	Ярославнефтеоргсинтез - Славнефть	14000,0
16.	Афипский НПЗ	3535,0
17.	Омский НПЗ - Газпромнефть	22500,0
18.	Ново-Уфимский НПЗ	7100,0
19.	Уфимский НПЗ	7500,0
20.	Уфанефтехим	9500,0
21.	Салаватнефтеоргсинтез - Газпром	10281,0
22.	Краснодарнефтеоргсинтез - Русснефть	1450,0
23.	Орскнефтеогсинтез - Русснефть	6630,0
24.	Хабаровский НПЗ - Альянс	4673,0
25.	Московский НПЗ - Газпромнефть	12150,0
26.	АО «ТАНЭКО» - Татнефть	7700,0
<b>ИТОГО:</b>		<b>271586,4</b>

**РОСНЕФТЬ,  
Всего  
86,191 млн.  
тонн в год**

**ЛУКОЙЛ,  
всего  
45,300 млн.  
тонн в год**

**Башнефть,  
всего  
24,100 млн.  
тонн в год**

## Использование мощностей по переработке нефти в РФ в 2014 г.

Наименование	Мощность, тыс.т	Загрузка, %
Первичная переработка нефти	271586,4	83,1
Каталитический крекинг	19602,7	84,5
Гидрокрекинг	22700,0	89,8
Каталитический риформинг	27210,3	67,6
Каталитический риформинг бензольно-толуольный	5088,0	67,1
Гидроочистка керосина и дизельного топлива	69799,8	65,7
Изомеризация	5103,9	96,1
Алкилирование	2210,0	95,8
Висбрекинг	19067,1	133,4
Коксование тяжелых остатков (по готовой продукции)	2387,4	90,5
Битумные остатки	11558,4	38,4

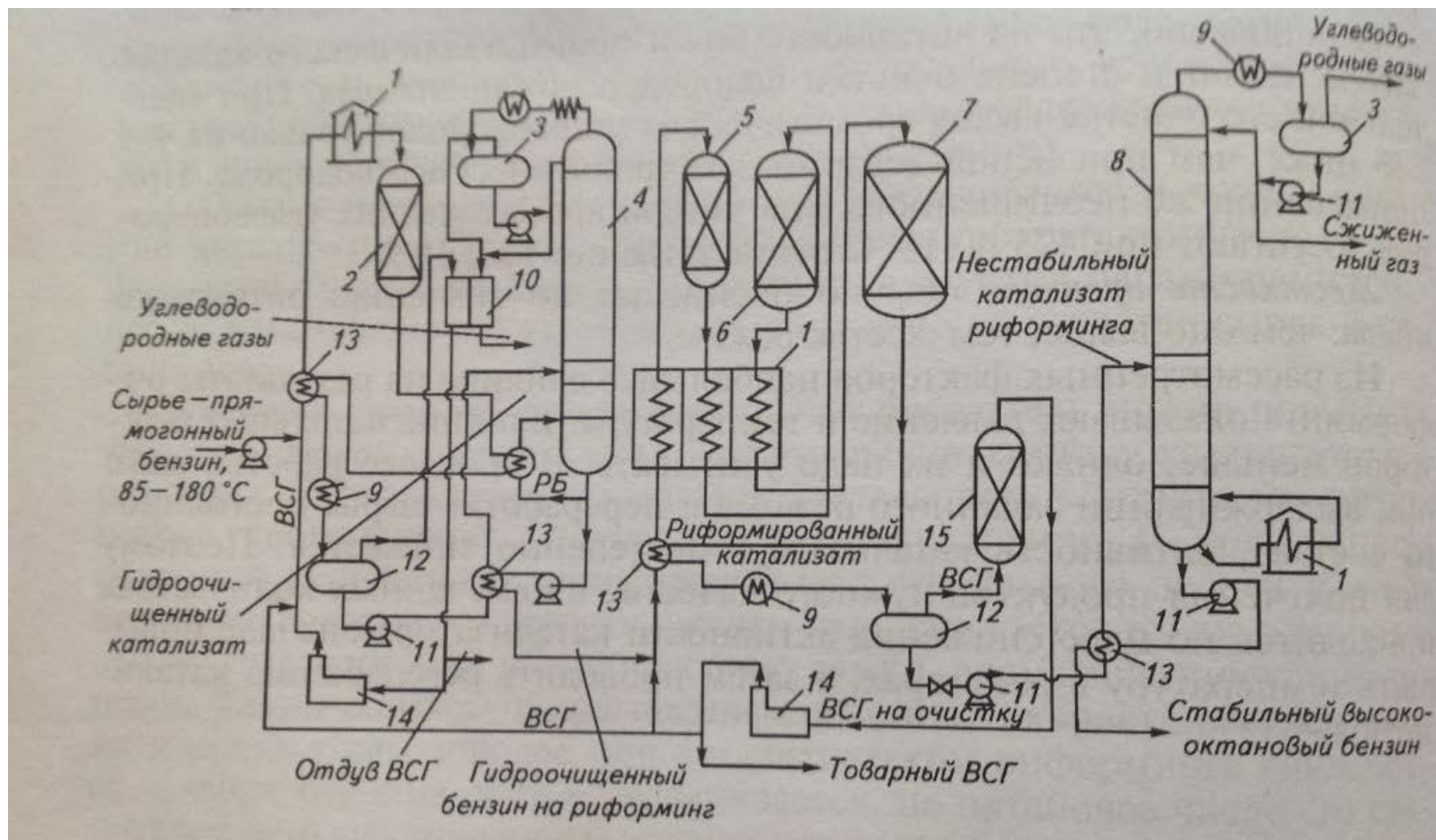
## Планируемые объемы ввода процессов по вторичной переработке нефти в РФ до 2020 года

Технологические процессы	Планируемый по программе ввод мощностей		Фактически введено (на 01.01.15)	
	млн.т/год	единиц	тыс.т/год	единиц
<i>Углубляющие переработку нефти</i>				
Каталитический крекинг	21	14	6800,0	3
Гидрокрекинг	53	16	11520,0	4
Коксование	15	33	1,21	3
Висбрекинг	10	7	6500	4
<i>Повышающие качество продукции</i>				
Каталитический риформинг	11	10	3600,0	4
Гидроочистка дизельного топлива	69	23	8200,0	8
Изомеризация	8	14	2520,0	9
Алкилирование	6	17	314,0	1

## Мощности каталитического риформинга в РФ, тыс т

	Предприятия	Мощность на 1.01.15.
1.	Ангарская НХК	1000,0
2.	Новокуйбышевский НПЗ	1044,9
3.	Сызранский НПЗ	1040,0
4.	Куйбышевский НПЗ	1320,5
5.	Ачинский НПЗ	1040,9
6.	Туапсинский НПЗ	320,0
6.	Комсомольский НПЗ	600,0
7.	ЛУКойл-Пермнефтеоргсинтез	1200,0
8.	ЛУКойл-Волгоградский НПЗ	1000,0
9.	ЛУКойл-Нижегороднефтеоргсинтез	1523,0
10.	Ухтинский НПЗ	393,0
11.	Рязанская НХК	1360,0
12.	Саратовский НПЗ	1145,0
13.	Киришинефтеоргсинтез	1900,0
14.	Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез	630,0
15.	Омский НПЗ	1530,0
16.	Ново-Уфимский НПЗ	2062,0
17.	Уфимский НПЗ	588,0
18.	Уфанефтехим	410,0
19.	Салаватнефтеоргсинтез	1000,0
20.	Орскнефтеогсинтез	2324,2
21.	Хабаровский НПЗ	397,0
22.	Московский НПЗ	1355,0
<b>ИТОГО:</b>		<b>27210,3</b>





## Установка бензинового риформинга

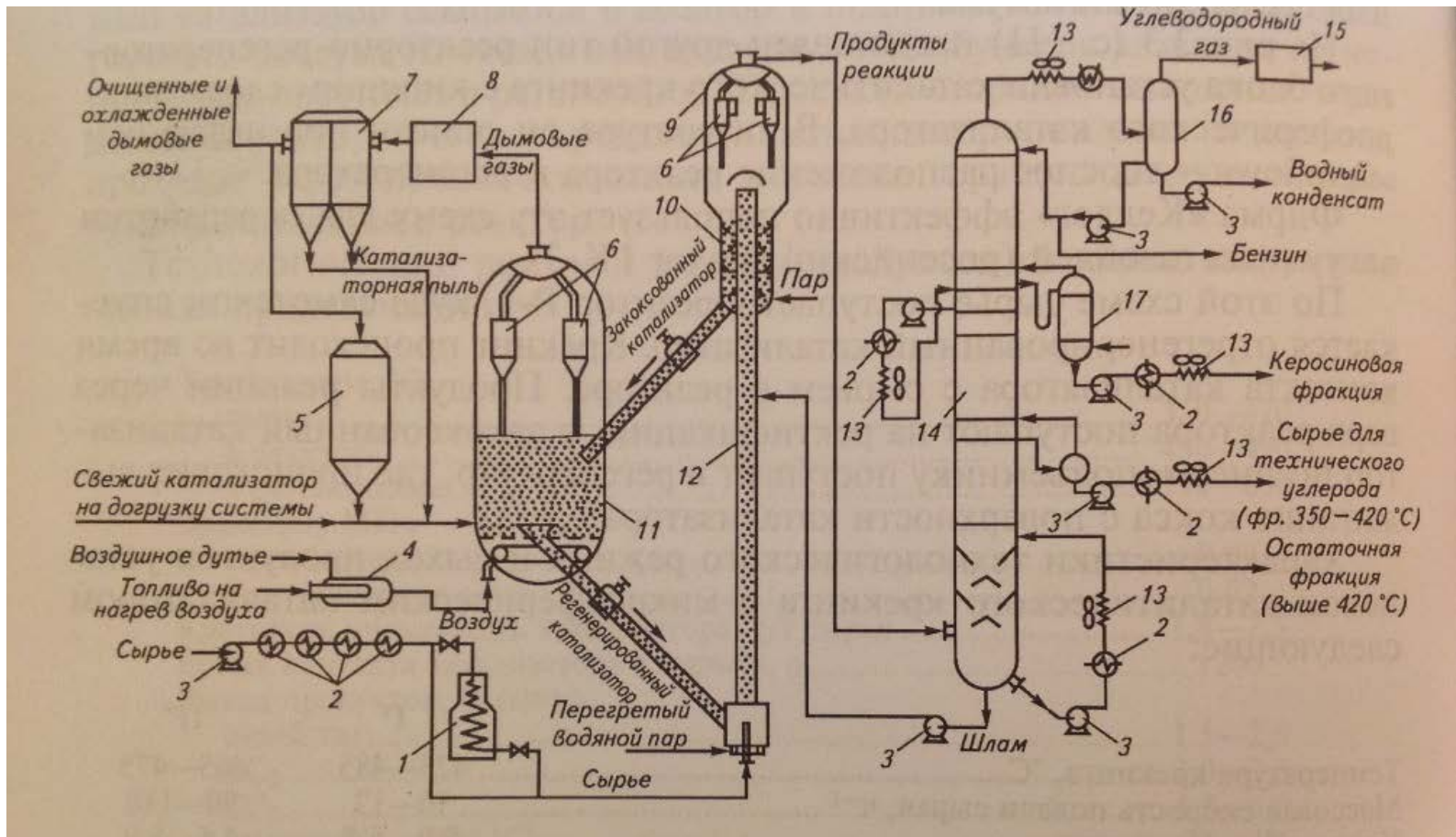
1-трубчатая печь; 2 – реактор гидроочистки; 3 – сепарационная емкость колонны; 4,8 – ректификационные колонны; 5-7 - реакторы риформинга; 9 – холодильник; 10 – секция очистки газа; 11- насос; 12- сепаратор высокого давления; 13- теплообменник; 14 – компрессор; 15 - абсорбер

## Сравнительные характеристики катализаторов риформинга

Показатели	ПР-51 (РФ)	REF-23 (РФ)	R-86(США)	RG-682(ФР)
Давление в реакторе, МПа	1,-1,5	2,-2,5	1,3-1,5	1,3-1,5
Выход, % масс :				
- риформата	85-87	84-85	82-84	83-85
- ароматических у/в	58-60	54-55	56-57	57-58
- водорода	2,5-2,9	2,0	2,0-2,4	2,2-2,6
ОЧ риформата (иссл.)	98-100	95-98	98-100	98-100
Содержание в риформате: ароматических у/в (% масс) в том числе бензола	67-70 1,0	63-67 1,5	67-70 2,0	67-70 1,5
Содержание, % масс платины	0,23	0,25	0,25	0,25
рения	0,30	0,40	0,40	0,40
Диаметр гранул, мм	1,6	1,8	1,6	1,6
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	680	700	730	690

## Мощности каталитического крекинга в РФ, тыс. т

	<b>Предприятия</b>	<b>Мощность на 1.01.15.</b>
1.	Ангарская НХК	1763,0
2.	Новокуйбышевский НПЗ	710,0
3.	Сызранский НПЗ	717,0
4.	Куйбышевский НПЗ	892,5
5.	ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез	820,0
6.	Рязанская НХК	2153,2
7.	Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез	1500,0
8.	Омский НПЗ	3545,2
9.	Ново-Уфимский НПЗ	1160,0
10.	Уфимский НПЗ	1924,0
11.	Уфанефтехим	903,0
12.	Салаватнефтеоргсинтез	565,0
13.	Московский НПЗ	2000,0
14.	ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез	3450,0
<b>ИТОГО:</b>		<b>21602,9</b>



## Каталитический крекинг с лифт-реактором

1-трубчатая печь; 2-теплообменник; 3-насос; 4-подогреватель воздуха; 5-бункер для катализатора; 6-циклоны; 7-электрофильтр; 8-котел-утилизатор; 9-сепарационная зона реактора; 10-отпарная колонна; 11-регенератор с кипящим слоем; 12- проточный реактор; 13- холодильник (АВО); 14-ректификационная колонна; 15-газовый блок; 16-емкость; 17 – отпарная колонна

## Технологический режим и выход продуктов при каткрекинге с лифт-реактором

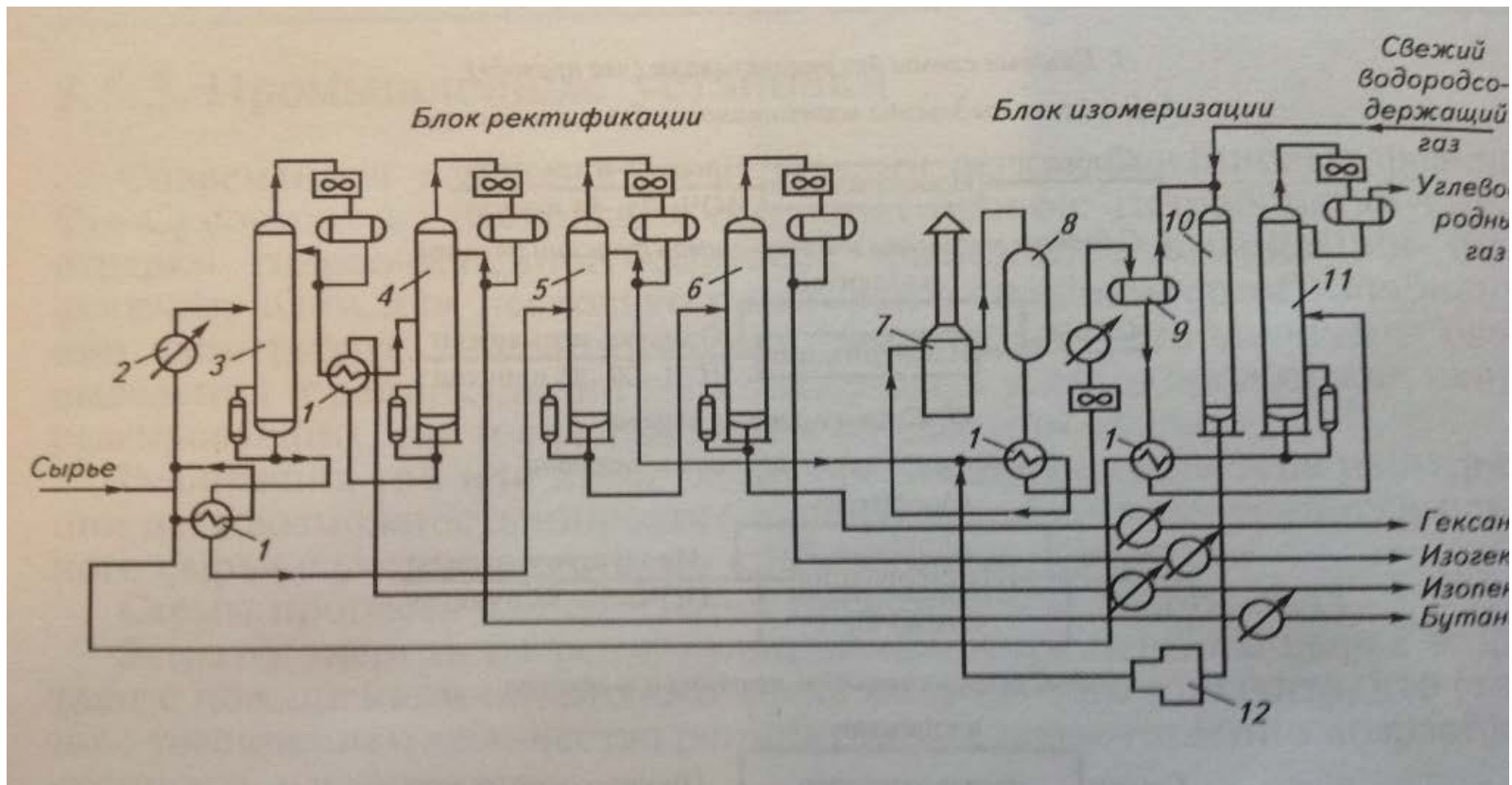
Показатель	Значение
Температура крекинга, °С	515-520
Объемная скорость подачи сырья, ч <sup>-1</sup>	80-100
Кратность циркуляции	5,5-6,0
Давление в реакторе, МПа	0,15
Температура в регенераторе, °С	650-670
Давление в регенераторе, МПа	0,15
Содержание остатков кокса на катализаторе, % масс	< 0,1
Выход С2, % масс	3,4
Выход С3-С4, % масс	12,6
Бензин (С5 -205°), % масс	50,0
Легкий газойль, % масс	12,9
Тяжелый газойль, % масс	17,5
Кокс, % масс	3,6

## Мощности установок изомеризации, тыс. т

	Предприятия	Мощность на 1.01.15.
1.	Ангарский НПЗ	263,0
2.	Ачинский НПЗ	270,0
3.	Новокуйбышевский НПЗ	310,0
4.	Сызранский НПЗ	217,0
5.	Куйбышевский НПЗ	192,5
6.	Комсомольский НПЗ	100,0
7.	Саратовский НПЗ	350,0
8.	ЛУКойл-Пермнефтеоргсинтез	1200,0
9.	ЛУКойл-Ухтанефтепереработка	100,0
10.	ЛУКойл-Волгограднефтепереработка	420,0
11.	Рязанская НХК	400,0
12.	Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез	720,0
13.	Омский НПЗ	754,0
14.	Ново-Уфимский НПЗ	650,0
15.	Уфимский НПЗ	300,0
16.	Уфанефтехим	500,0
17.	Салаватнефтеоргсинтез	365,0
18.	Московский НПЗ	650,0
19.	ЛУКойл-Нижегороднефтеоргсинтез	430,0
20.	Киришинефтеоргсинтез	500,0
<b>ИТОГО:</b>		<b>5103,0</b>

## Параметры процесса изомеризации

Показатели	Алюмоплатиновый катализатор		Платина на цеолите
	Фторированный	Хлорированный	
Температура, °С	360-440	120-220	230-280
Давление, МПа	3,5-3,9	2,1-4,0	1,6-3,0
Выход изомеризата, % масс	95-97	98	93-97
ОЧ, моторный метод	78-80	82-83	78-80
Допускаемое содержание:			
серы, ppm	10	50	50
воды, ppm	10	50	100



## Высокотемпературная изомеризация

1- теплообменник; 2 – холодильник; 3 – изопентановая колонна; 4- бутановая колонна; 5 – пентановая колонна; 6 – изогексановая колонна; 7 – печь; 8 – реактор; 9 – сепаратор; 10 – адсорбер; 11 – стабилизационная колонна; 12 - компрессор



## Мощности установок алкилирования, тыс.т

	<b>Предприятия</b>	<b>Мощность на 1.01.15.</b>
1.	Ангарский НПЗ	250,0
2.	Рязанская НХК	400,0
3.	Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез	150,0
4.	Омский НПЗ	250,0
5.	Ново-Уфимский НПЗ	250,0
6.	Уфанефтехим	300,0
7.	Московский НПЗ (олигомеризация)	250,0
8.	ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез	360,0
<b>ИТОГО:</b>		<b>2210,0</b>

## Вариант октанового фонда

Компонент	Кол-во, т/мес	ОЧ ИМ	ОЧ ММ	Содерж. аромат., % масс	Содерж. бензола, % масс	Содерж. олефин, % масс	Содерж серы, % масс
Риформат 95	113800	96,5	86,0	56,0	1,3	0,0	0,0
Изомеризат	35925	80,5	79,5	0,01	0,01	0,0	0,0
Бензин КК	116900	93,7	82,0	26,7	1,1	13,5	0,002
Алкилат	29760	96,7	94,4	0,0	0,0	0,0	0,0
МТБЭ	585	116,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,001
Бутан в смесь бензинов	1850	93,0	92,0	0,0	1,0	0,1	0,001
ББФ	4000	90,0		0,0	0,0	35,0	0,0
Фр. НК-85	5000	70,0	70,0	1,2	1,2	0,0	0,01
C5+	5000	70,0	70,0	1,2	1,2	0,0	0,0

Вариант материального баланса по сортам бензинов (% масс, т/мес.)

Компонент	Евро 5 98		АИ-95 евро-5		АИ-92 евро-5(W92)		АИ-92 евро-5(Q92)	
<b>Риформат</b>	41,59	2173	33,96	46533	47,06	19554	37,32	31533
<b>Изомеризат</b>	4,73	247	7,58	10379	24,60	10220	17,85	15079
<b>Бензин кк</b>	34,97	1827	53,65	73512	22,36	9291	10,94	9247
<b>Алкилат</b>	4,69	245	2,79	3821	-	-	30,41	25694
<b>МТБЭ</b>	8,13	425	0,12	160	-	-	-	-
<b>Бутан в смесь бензинов</b>	2,01	105	1,27	1745	-	-	-	-
<b>ББФ</b>	3,89	203	0,63	860	1,70	708	-	-
<b>Фр. НК-85</b>	-	-	-	-	1,72	713	3,49	2945
<b>С5+</b>	-	-	-	-	2,57	1067	-	-
<b>Итого, т/мес</b>	100,0	5225	100,0	137010	100,0	41553	100,0	84498

## Октановый фонд (вариант 2)

Компонент	Кол-во, т/мес.	ОЧ ИМ	Содерж. аром, % масс	Содерж бензола, % масс	Содерж олеф., % масс	Содерж серы, % масс
<b>МТБЭ</b>	4029	116	0,00	0,00	0,0	0,001
<b>Изопентан</b>	6157	-	-	-	0,0	0,0001
<b>Изомеризат</b>	98400	80,5	0,01	0,01	0,1	0,0
<b>Бензин КК</b>	125200	93,7	26,70	1,10	13,5	0,002
<b>Бензин ГФУ</b>	702	-	-	-	-	0,0
<b>Кубовый остаток</b>	1012	-	-	-	0,0	0,0
<b>Сольвент</b>	338	-	-	-	0,0	0,0
<b>Риформат 35-6</b>	70560	96,5	56,00	1,30	0,0	0,0
<b>Риформат 35-11/600</b>	115400	92,0	56,00	1,35	0,0	0,0
<b>Риформат 35-11/300</b>	43210	97,0	56,00	1,35	0,0	0,0

**Материальный баланс по бензинам  
(% масс, т/мес.)**

<b>Компоненты</b>	<b>АИ-92</b>		<b>АИ-95</b>	
<b>МТБЭ</b>	1,08	1197	10,54	2832
<b>Изопентан</b>	2,74	3018	11,69	3139
<b>Изомеризат</b>	27,55	30402	7,84	2107
<b>Бензин КК</b>	10,93	12062	16,59	4455
<b>Бензин ГФУ</b>	0,64	702	-	-
<b>Кубовый остаток</b>	0,92	1012	-	-
<b>Сольвент</b>	0,31	338	-	-
<b>Риформат 35-6</b>	13,34	14717	46,65	12530
<b>Риформат 35-11/600</b>	42,50	46889	-	-
<b>Риформат 35-11/300</b>	-	-	6,68	1795
<b>Итого</b>	<b>100,00</b>	<b>110337</b>	<b>100,00</b>	<b>26858</b>