



**Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Институт природных ресурсов  
Кафедра Химической технологии топлива и химической кибернетики**

# **Комплексный подход к повышению ресурсоэффективности производства товарных бензинов**

**Киргина Мария Владимировна**

***ассистент кафедры ХТТ и ХК ИПР ТПУ***

# ● Актуальность

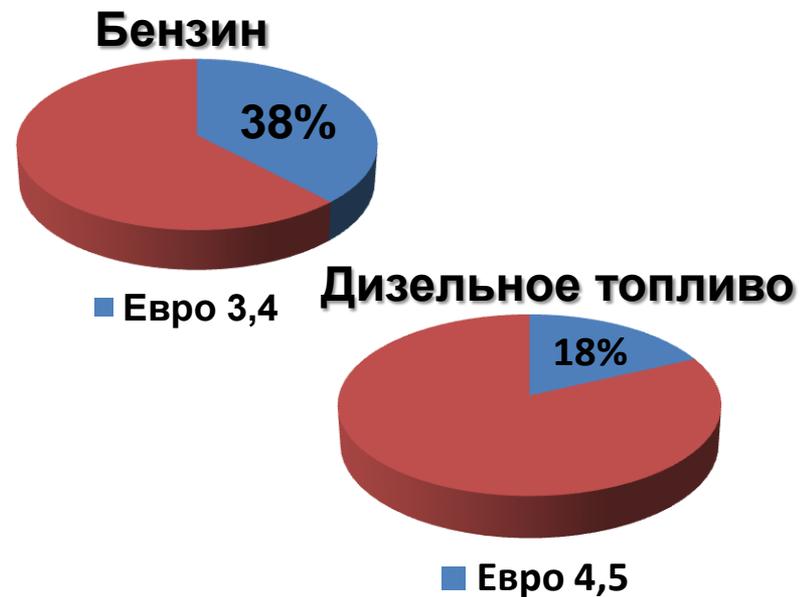
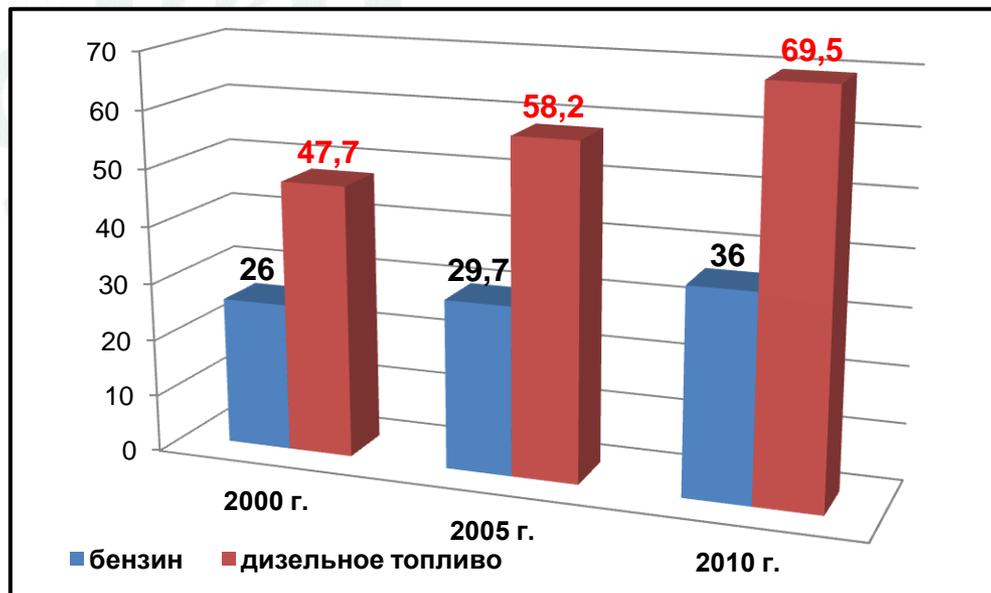


Рис. 1 Объем производимых моторных топлив, млн. тонн

**Основная задача, стоящая перед нефтеперерабатывающей промышленностью – повышение качества нефтепродуктов.**



# ● Сложности оптимизации

**Многостадийность процесса приготовления товарных бензинов**

**Нестационарность протекания процессов получения компонентов товарных бензинов**

**Каталитическая активность различна для различных марок катализаторов и изменяется в течении процесса**

**Постоянно меняющийся состав сырья**

**Неаддитивность физико-химических свойств товарных бензинов**

# ● Сложности оптимизации

## НПЗ

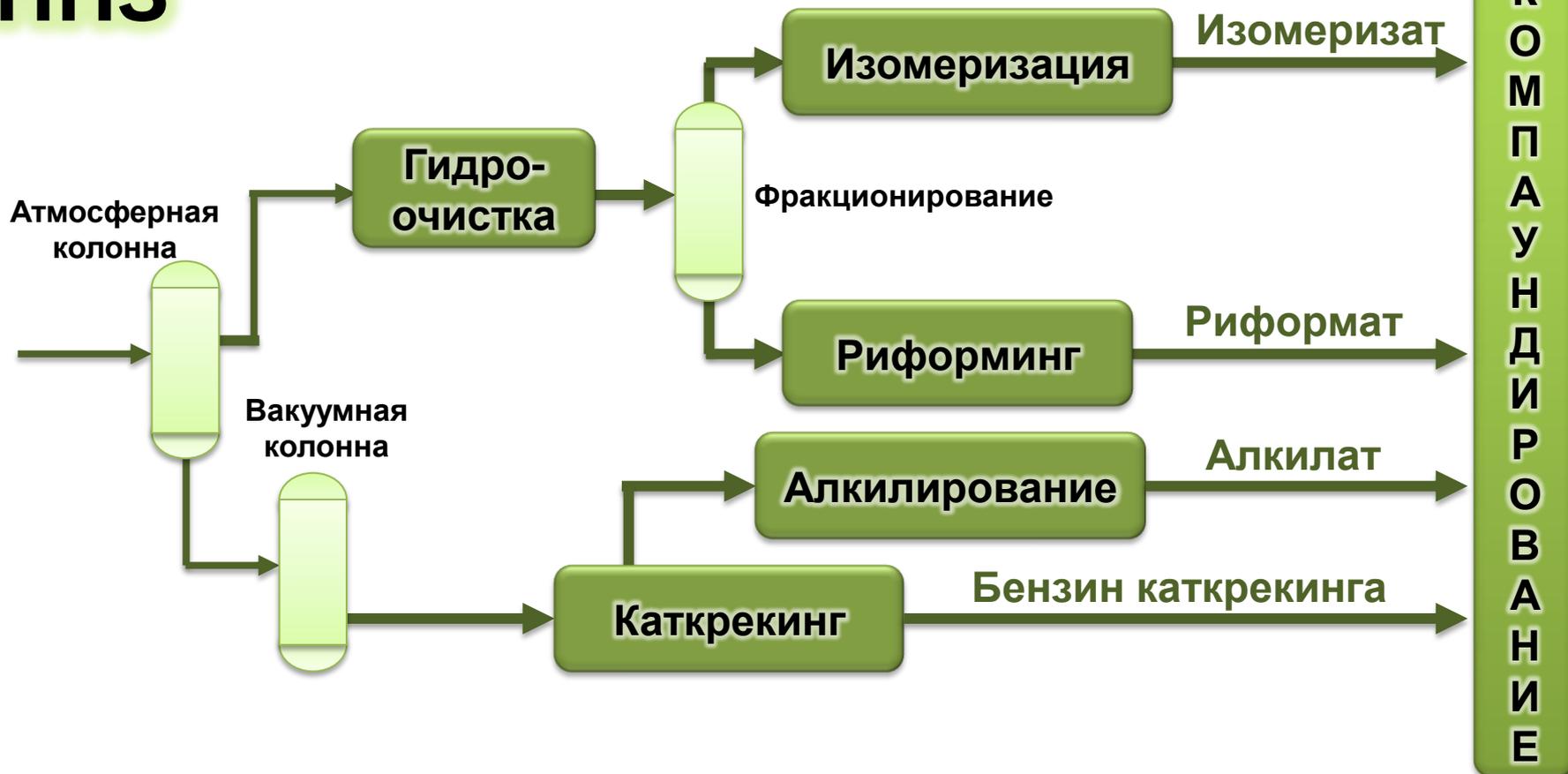


Рис. 2 Схема нефтеперерабатывающего завода

# ● Неаддитивность октановых чисел

Октановое число – основная эксплуатационная характеристика топлива – **не аддитивная величина**



$$ОЧ_{\text{аддитивно}} = \sum_{i=1}^n ОЧ_i \cdot C_i \neq ОЧ_{\text{экспериментально}}$$

Причина неаддитивности октановых чисел – **межмолекулярные взаимодействия (ММВ)** между углеводородами.

# ● Пути решения



**Процесс приготовления товарных бензинов  
крайне сложен для оптимизации!**



Наиболее удобный способ решения подобных многофакторных задач оптимизации:  
**Метод математического моделирования**



Наиболее эффективный инструмент:  
**Комплексная моделирующая система  
на физико-химической основе**

# ● Комплексная моделирующая система

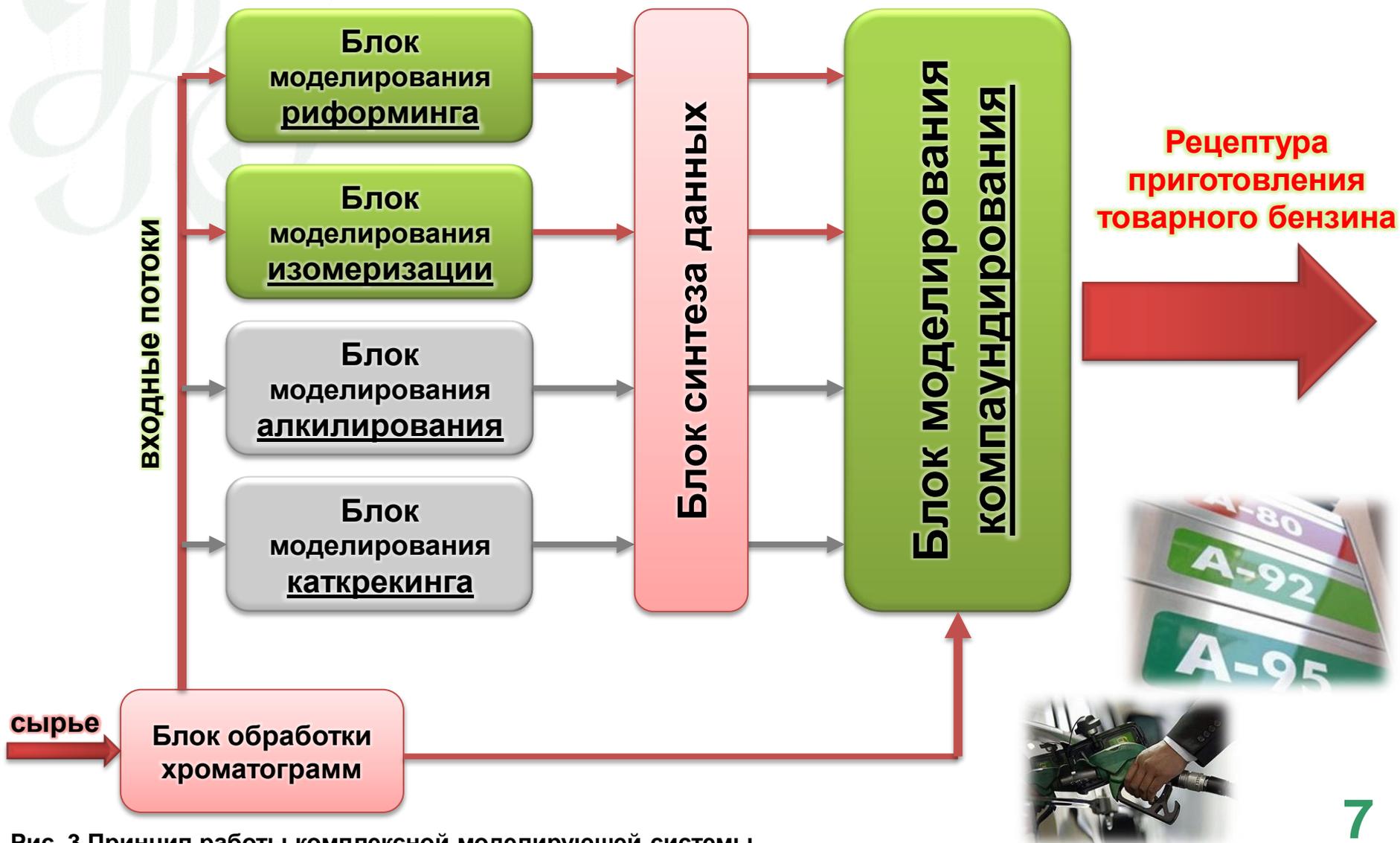
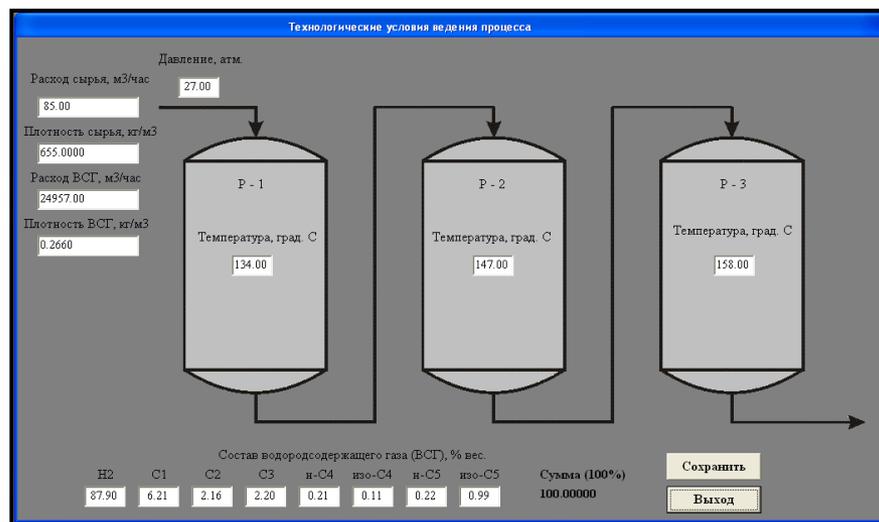
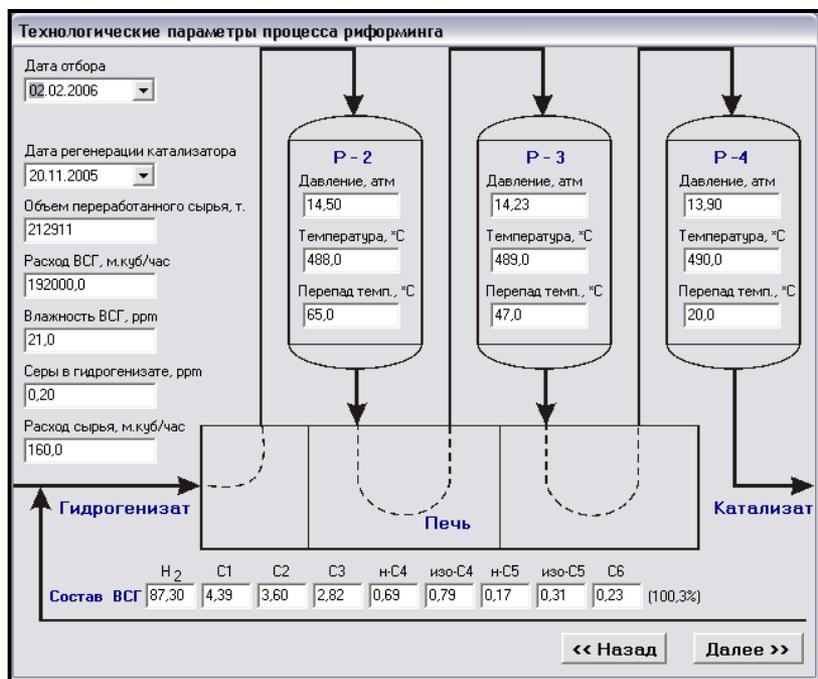


Рис. 3 Принцип работы комплексной моделирующей системы

# ● Блоки моделирования процессов риформинга и изомеризации

Базируются на **нестационарных кинетических моделях** процессов.

Учитывают **влияние состава и объема перерабатываемого сырья и изменение активности катализатора.**



## ● Математическая модель процессов риформинга и изомеризации

$$G \cdot \frac{\partial C_i}{\partial z} + G \cdot \frac{\partial C_i}{\partial V} = \sum_{j=1}^m W_j$$

$$G \cdot \frac{\partial T}{\partial z} + G \cdot \frac{\partial T}{\partial V} = \frac{1}{\rho \cdot C_p^{см}} \sum_{j=1}^m Q_j \cdot W_j$$

при  $Z = 0$   $C = 0$  при  $z = 0$   $C = C_0$   
 при  $Z = 0$   $T = T_0$  при  $z = 0$   $T = T_{вх}$

$G$  – нагрузка по сырью, м<sup>3</sup>/с;

$C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента, моль/м<sup>3</sup>;

$z$  – объем переработанного сырья, м<sup>3</sup>;

$i = 1 \dots N$ ;  $j = 1 \dots M$ ;  $N$  – число веществ участвующих в реакциях;  $M$  – число реакций;

$W_j$  – скорость протекания  $j$ -ой реакции, моль/м<sup>3</sup>·с;

$V$  – объем реактора, м<sup>3</sup>;  $T$  – температура в реакторе, С;

$\rho$  – плотность, моль/м<sup>3</sup>;  $Q_j$  – тепловой эффект  $j$ -ой реакции, Дж/моль;

$C_p^{см}$  – удельная теплоемкость газовой смеси, Дж/(моль·С)

## ● Блок моделирования процесса компаундирования

Программа расчета октанового числа

Компаундирование Окно Настройки

Смешение Соотношение Настройки Экспорт Конвертировать

Соотношение потоков от конечного ОЧ

Параметр	Значение
ОЧ	92,01
Соотн.	6:7:6 или 32:37:32
ДНП потока	57,92

<< Назад Далее >> Отмена

## ● Расчет октановых чисел с учетом неаддитивности

$$ОЧ_{см} = \sum_{i=1}^n ОЧ_i \cdot C_i + B$$

$ОЧ_{см}$  – октановое число смешения бензинов;

$ОЧ_i$  – октановое число  $i$ -го компонента;

$B$  – суммарное отклонение октановых чисел от аддитивности;

$C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента, % мас.

$$B = \frac{1}{100} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{\substack{j=2 \\ i \neq j}}^n B_i B_j C_i C_j \quad B_i = \alpha \left( \frac{D_i}{D_{max}} \right)^n$$

$D$  – дипольный момент;

$B_i, B_j$  – величина, характеризующая склонность  $i$ -й молекулы к межмолекулярному взаимодействию с  $j$ -й молекулой;

$\alpha$  и  $n$  – кинетические параметры, определяющие интенсивность межмолекулярных взаимодействий;

$D_{max}$  – максимальный дипольный момент молекул

ароматических углеводородов  $C_{9+}$ .

## ● Расчет октановых чисел с учетом действия антидетонационных присадок

$$ОЧ_i = ОЧ_0 + П \cdot \Delta ОЧ_{max} \cdot (1 - e^{-K_{эфф} \cdot C_{пр}})$$

$$C_{пр} = \frac{C_i}{C_{max}}$$

$ОЧ_0$  – октановое число базового бензина;

$П$  – приемистость разного типа топлива к

антидетонационной присадке;

$\Delta ОЧ_{max}$  – максимально возможный прирост октанового числа;

$K_{эфф}$  – коэффициент эффективности присадки, определяющий скорость протекания реакций разрушения пероксидов;

$C_i$  – концентрация присадки;

$C_{max}$  – максимально допустимая концентрация присадки.

## ● Разработка рецептур смешения бензинов

Таблица 1. Содержание ключевых компонентов в риформатах

Состав	Содержание, мас. %			ОЧМ	ОЧИ
	Общая ароматика	Бензол	Ароматика C <sub>9+</sub>		
Риформаты					
Риформат № I	64,21	2,27	24,25	86,4	98,9
Риформат № II	62,62	2,63	25,06	85,7	98,3

Таблица 2. Содержание ключевых компонентов в изомеризатах

Состав	Содержание, мас. %			ОЧМ	ОЧИ
	Изопентан	Метилпентаны	Диметилбутаны		
Изомеризаты					
Изомеризат № I	37,48	19,57	14,28	81,5	83,3
Изомеризат № II	33,14	20,93	14,03	80,1	82,0

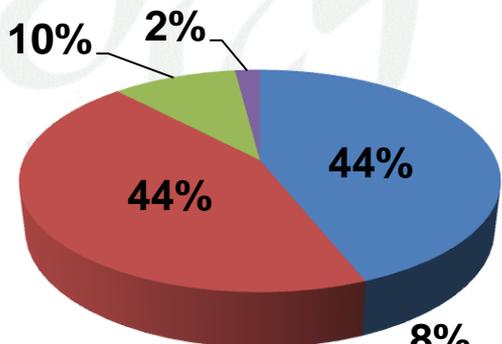
## ● Разработка рецептур смешения бензинов

Таблица 3. Рецептуры приготовления бензинов класса ЕВРО-3 и выше

ПОТОКИ	Регуляр-92		Премиум-95		Супер-98	
	I	II	I	II	I	II
<b>Содержание компонентов в товарном бензине, % мас.</b>						
Риформат № I	44	–	44	–	44	–
Риформат № II	–	38	–	38	–	38
Изомеризат № I	44	–	38	–	30	–
Изомеризат № II	–	46	–	38	–	27
Изопентан	10	13	10	14	12	20
МТБЭ	2	3	8	10	14	15
<b>Характеристики товарных бензинов</b>						
<b>ОЧИ</b>	<b>92,9</b>	<b>92,6</b>	<b>95,4</b>	<b>95,1</b>	<b>98,2</b>	<b>98,1</b>
Содержание бензола, % мас.	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Содержание ароматики, % мас.	28,25	23,80	28,25	23,80	28,25	23,80
ДНП, кПа	79,91	79,78	76,47	76,91	73,36	76,40

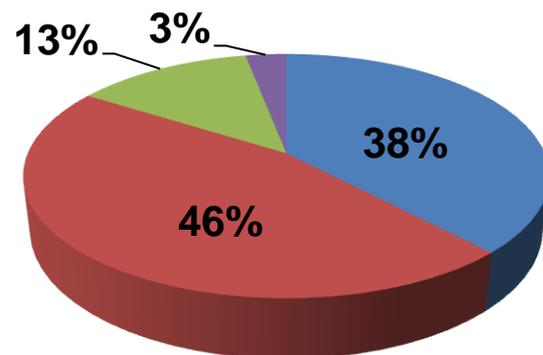
# ● Разработка рецептур смешения бензинов

## Риформат/Изомеризат I

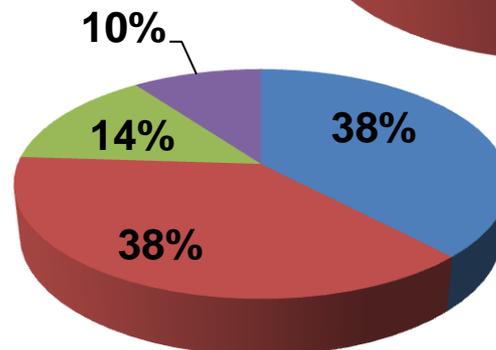
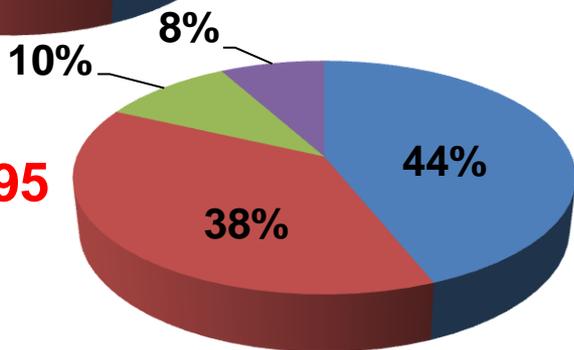


## Регуляр-92

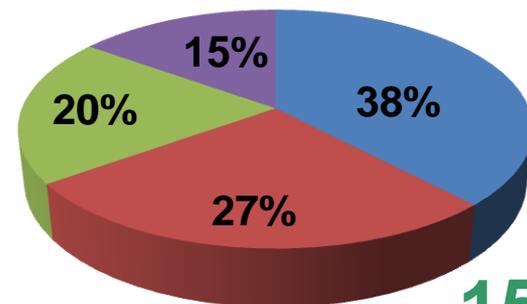
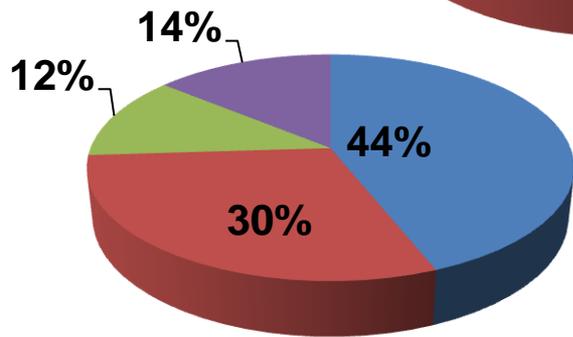
## Риформат/Изомеризат II



## Премиум-95



- Риформат
- Изомеризат
- Изопентан
- МТБЭ



## Супер-98

# ● Выводы



Преимущества комплексной моделирующей системы

→ точный расчет октановых чисел с учетом неаддитивности

→ учет состава сырья, технологических параметров процессов и ресурса катализатора



- Точный и оперативный расчет рецептуры приготовления товарного бензина;
- Возможность оптимально распределить сырье между технологическими установками предприятия.



- сокращение выхода некондиционных партий,
- экономия дорогостоящих компонентов,
- **повышение эффективности процесса.**



**Спасибо за  
внимание!**