



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК**  
**Институт физической химии**  
**и электрохимии им. А.Н.Фрумкина**  
**(ИФХЭ РАН)**

# **ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ КОНВЕРСИЯ** **НЕФТЯНОГО ГАЗА**

**ЕРШОВ Борис Григорьевич**

*член-корреспондент РАН, заместитель директора ИФХЭ РАН*

**ПОНОМАРЕВ Александр Владимирович**

*главный научный сотрудник ИФХЭ РАН*

*Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума РАН, РФФИ  
и АНК «Башнефть»*

**ДЕСТРУКЦИЯ**

Линейная передача энергии  $> 0.5$  кЭв/мкм

Плотность потока  $> 150$  кГр/см<sup>2</sup>с

**УПРАВЛЯЕМЫЙ СИНТЕЗ**

Линейная передача энергии  $< 0.2$  кЭв/мкм

Плотность потока  $< 5$  кГр/см<sup>2</sup>с

**ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ**

# Гамма-излучатели

основной инструмент исследователей в 1950-1990 г.г.

Суммарная мощность всех промышленных гамма-излучателей  $^{60}\text{Co}$  ~ 2.1 МВт

Максиальная мощность  
16 кВт (СССР)  
60 кВт (США)

Излучатель	N, кВт	$P_{\text{макс}}$ , Гр/с
К-20000	0.204	11
К-60000	0.433	12
К-120000	1.251	46
К-200000	2.077	70
К-300000	1.484	40
КУК-100	1.043	47
УКП-100000	0.962	50
МГУ-30000	0.289	70
ГУГ-120000	1.155	18
КПУ-90000	0.862	22

Максимальная мощность дозы  
70 Гр/с



# Ускорители электронов

Ускоритель	W, кВт	E, МэВ
ЭЛТ-1.5	15	0.7
ЭЛТ-2.5	15	1.7
ЭЛИТ-1В	4.5	1.1
ЭЛИТ-2	10	1.5
Электрон-III	7	0.7
Электрон-IV	10	0.5
Аврора-II	25	0.5
Аврора-III	30	0.4
Аврора-IV	25	0.3
ЭЛВ-1	20	1.0
ЭЛВ-4	50	1.5
<b>У-12</b>	<b>0.6</b>	<b>5.0</b>
<b>ЭЛУ-6</b>	<b>5.0</b>	<b>8.0</b>

## Особенности промышленных ускорителей до 1990 г.

- Воздушное охлаждение выпускного окна
- Ориентация на обработку рулонных материалов
- Низкая мощность в пучке



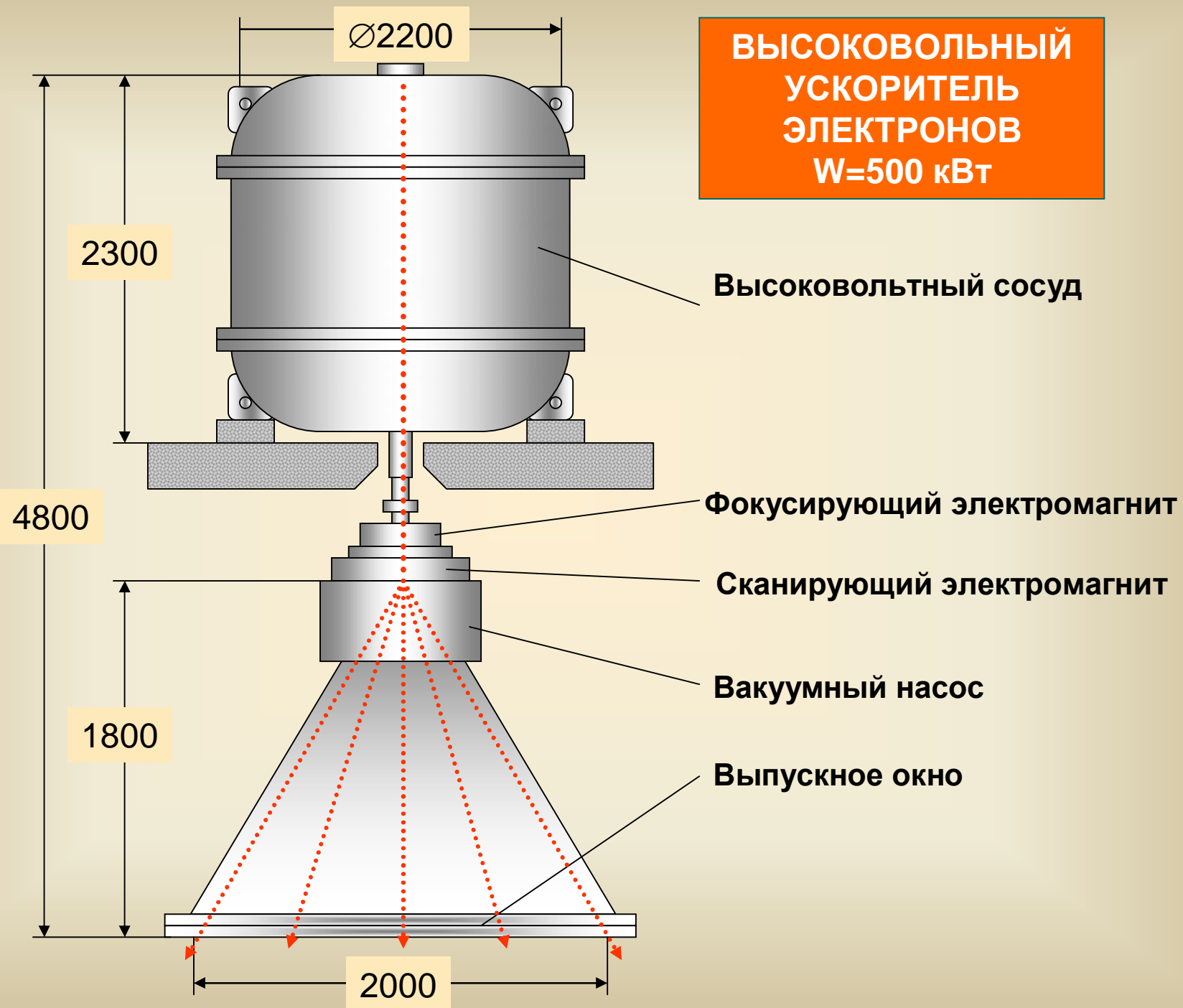
## Новое поколение ускорителей

- $W = 400-500$  кВт (до 2.3 МВт)
- $E$  – до 1.5 МэВ;  $I$  – до 0.5 А
- Плотность тока – до 200 мА/см<sup>2</sup>
- Водяное охлаждение выпускного окна
- Совмещение генератора и ускорительной трубки

Электронно-лучевая конверсия  
углеводородов при высокой мощности  
дозы



**ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ  
УСКОРИТЕЛЬ  
ЭЛЕКТРОНОВ  
W=500 кВт**



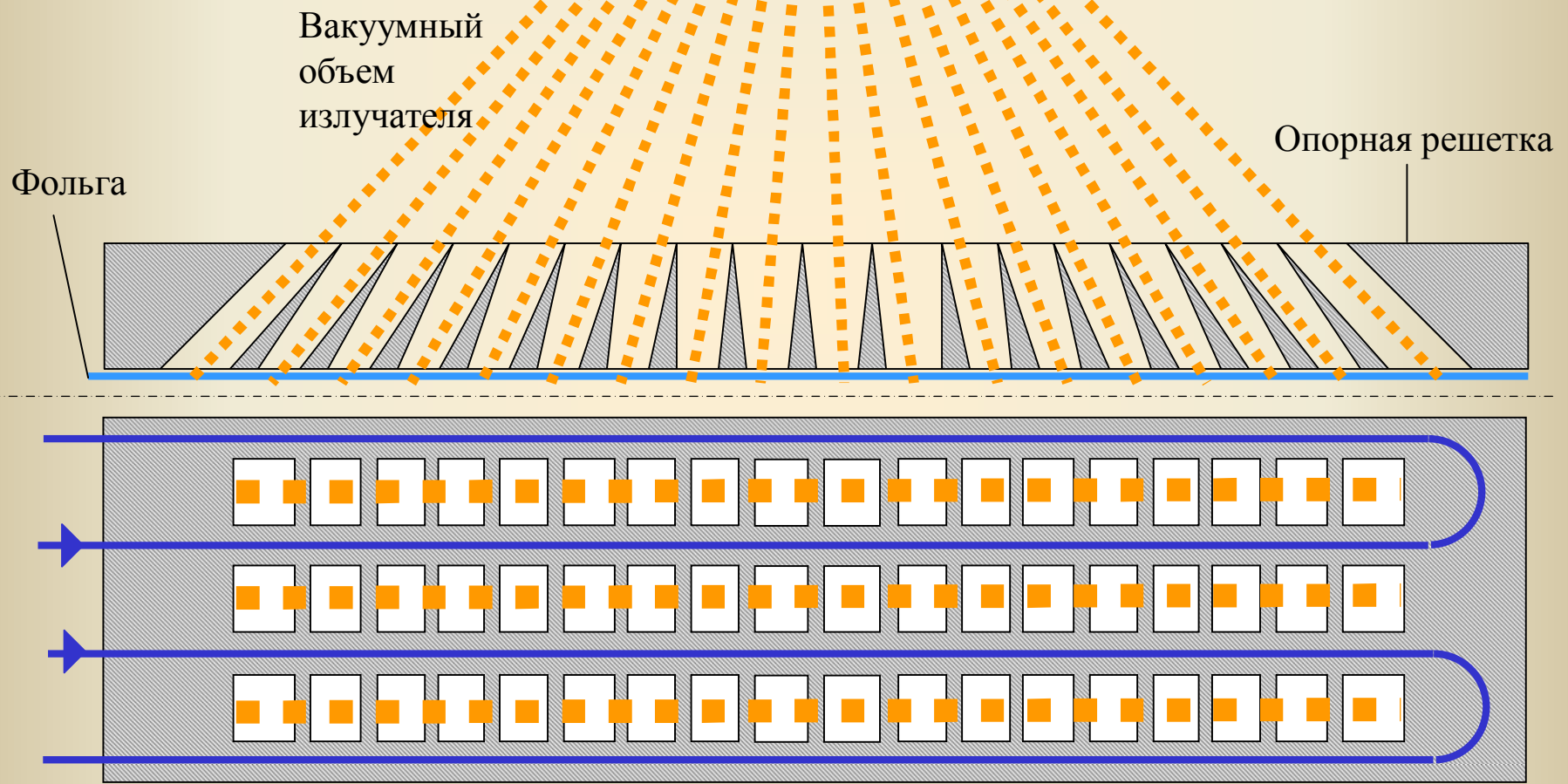
## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ КОНВЕРСИЯ ГАЗА

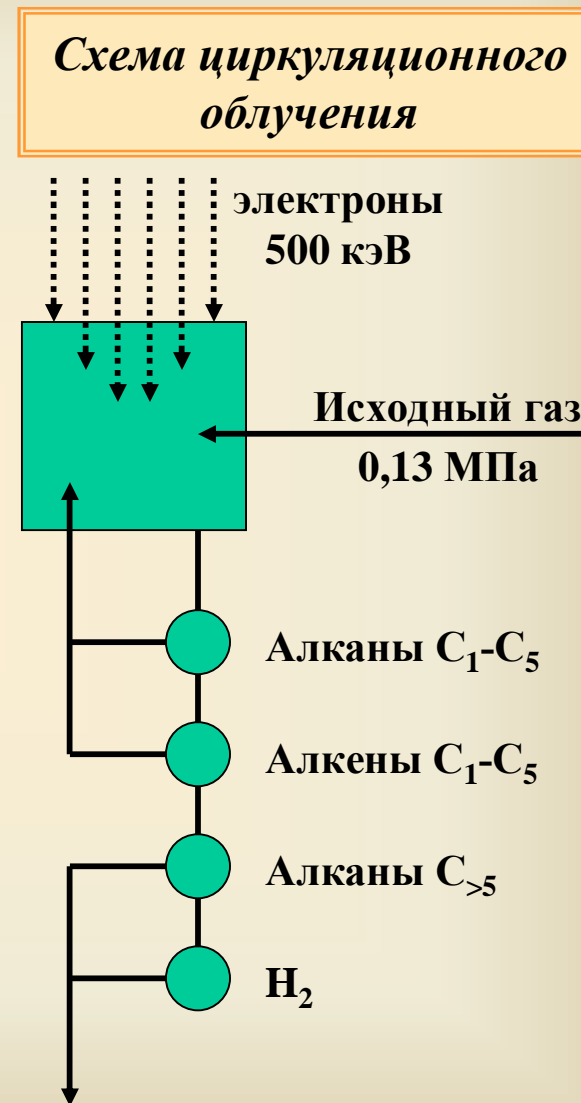
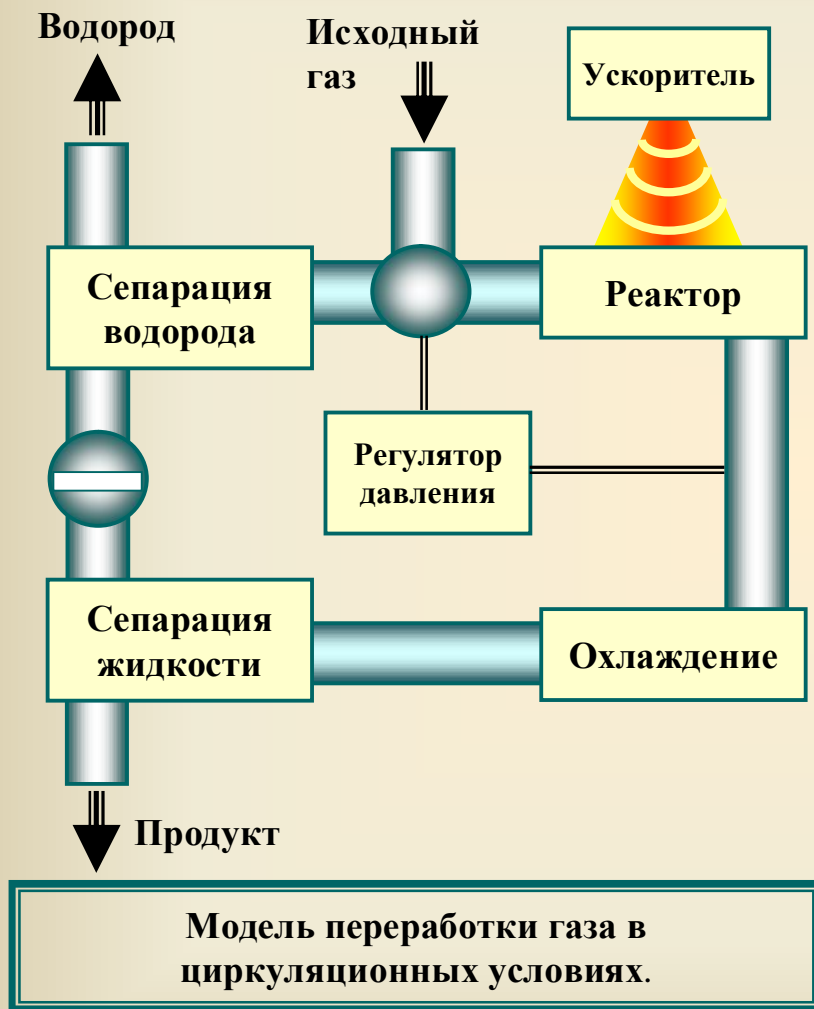
Траектория движения электронного пучка в плоскости выпускного окна ускорителя



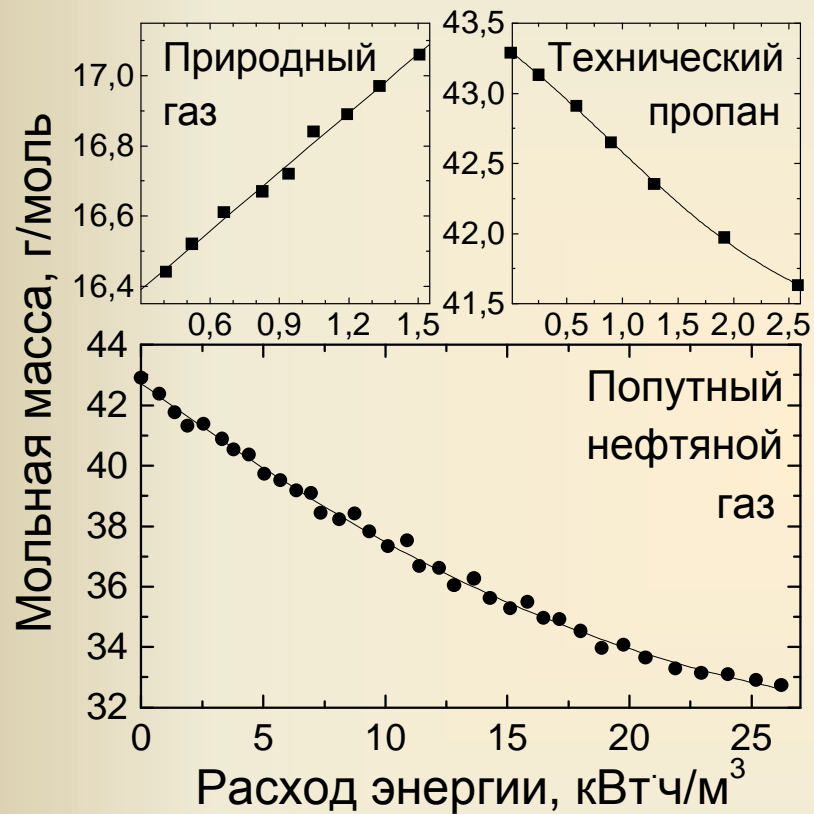
Время возврата пучка в исходное положение 0,02 с.  
Время нахождения газа в зоне облучения  $<0,05$  с.  
Время центробежной сепарации продукта  $<0,02$  с.

Распределение  
электронного пучка в  
выпускном окне с  
опорной решеткой

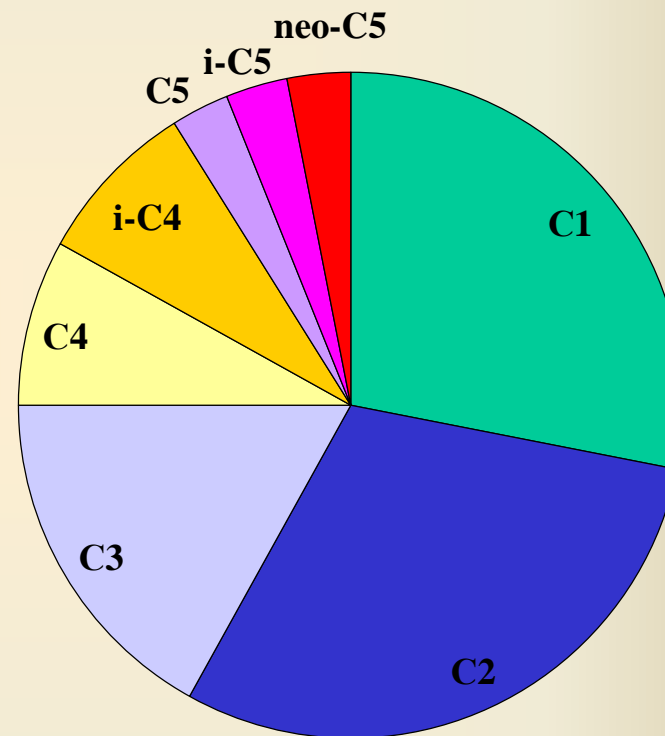




# Коррекция состава газа

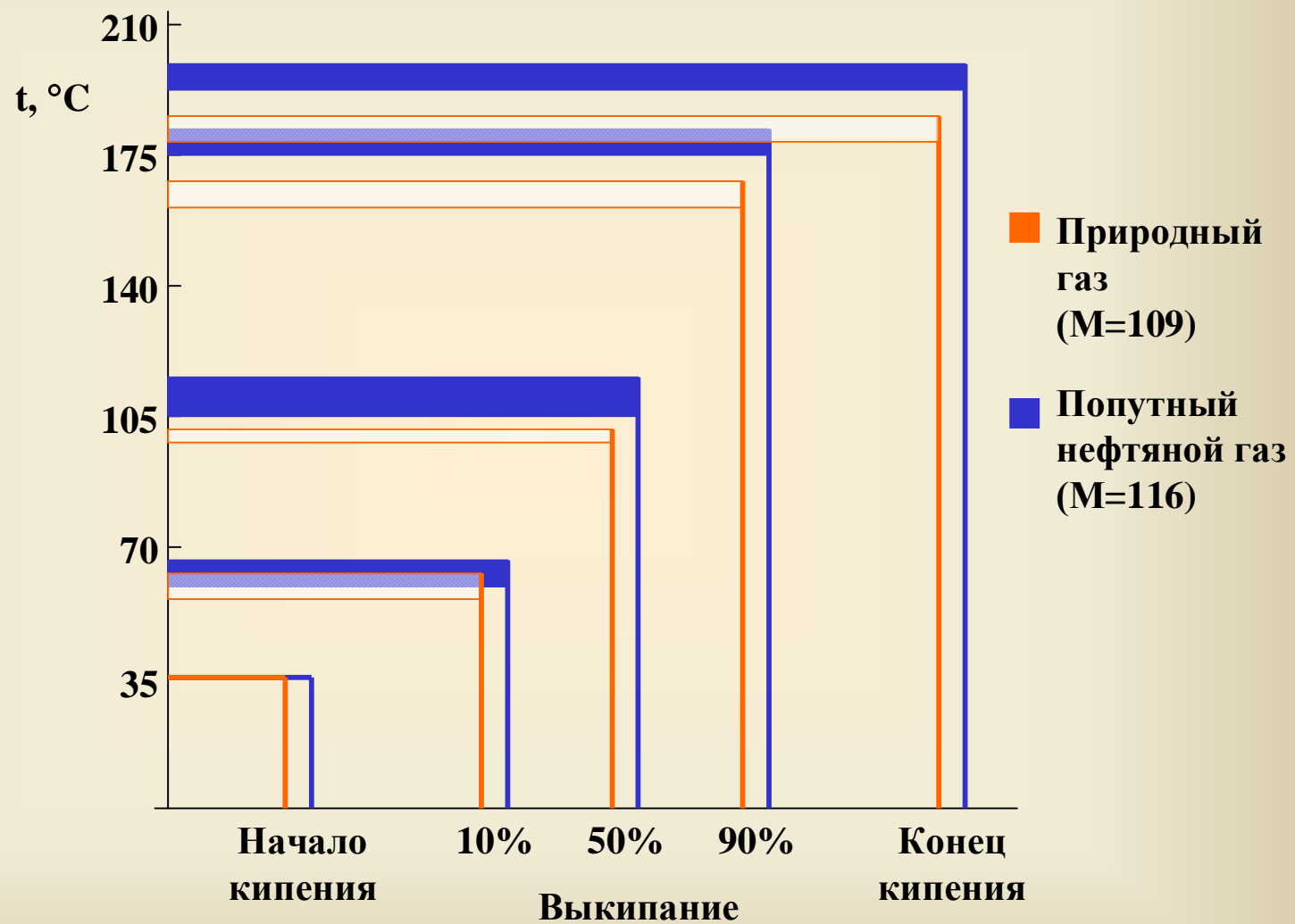


Изменение средней мольной массы газовой фазы

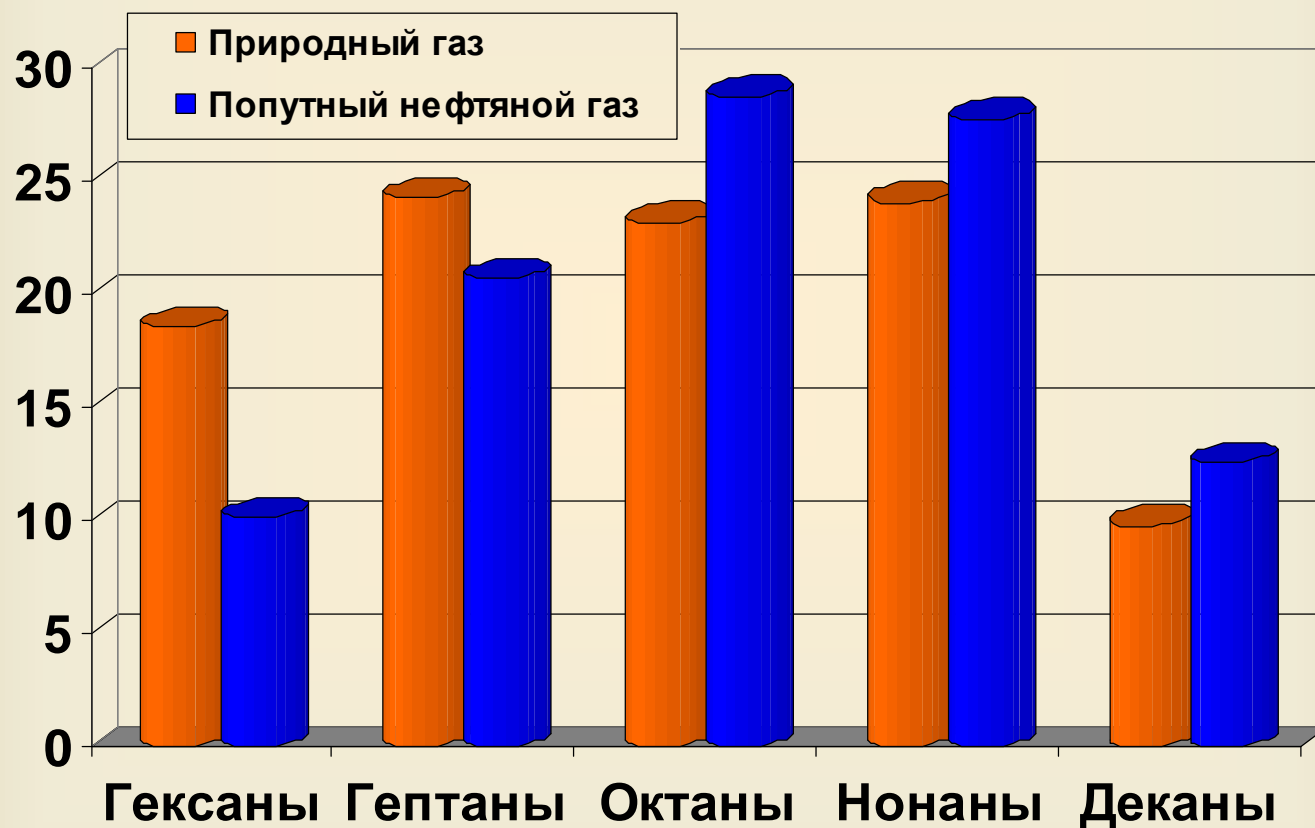


Равновесный состав реакционной смеси

## ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ЖИДКОГО ПРОДУКТА
















## ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ ЖИДКОГО ПРОДУКТА



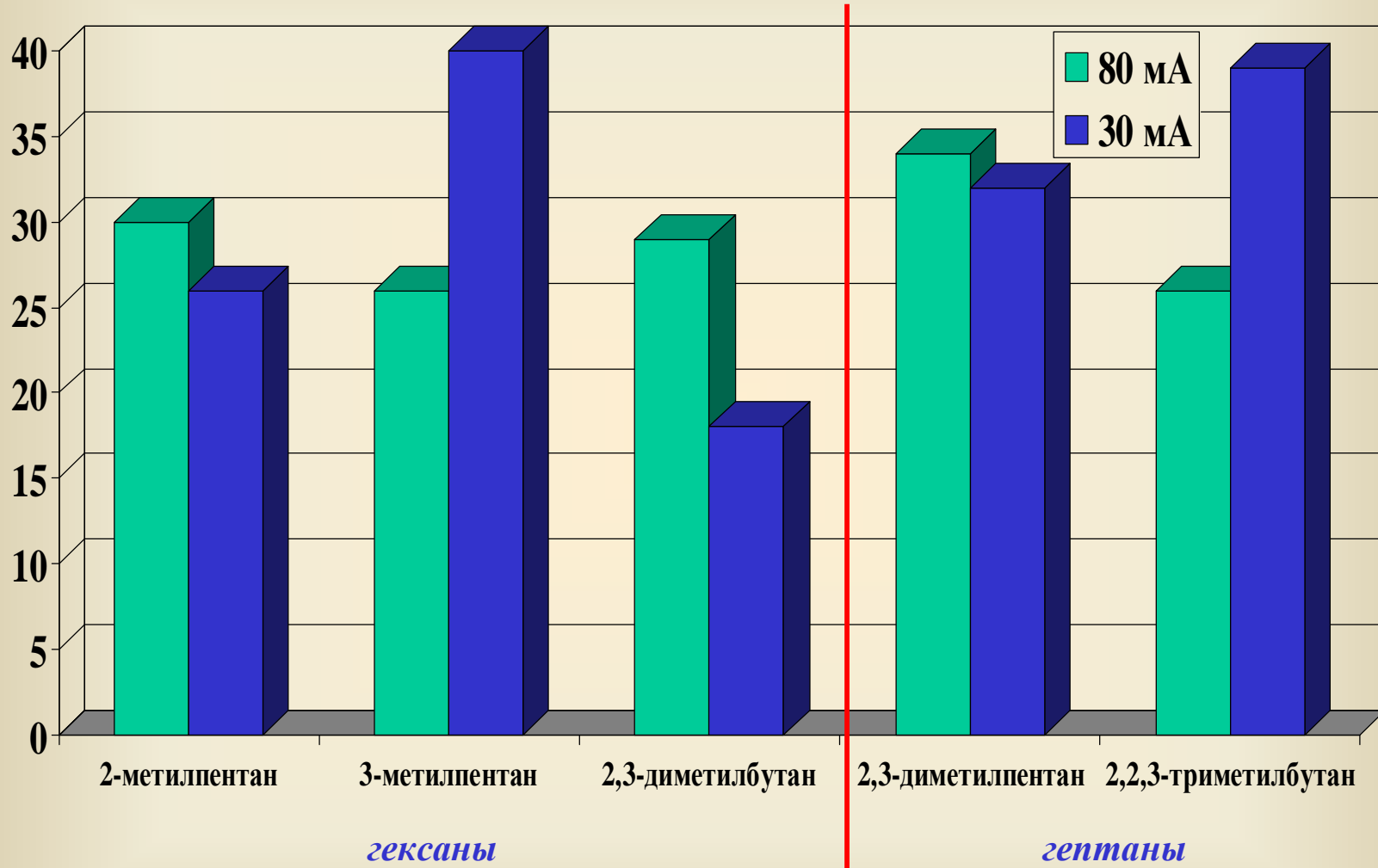
**ИЗОМЕРНЫЙ СОСТАВ ЖИДКОГО ПРОДУКТА.  
ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КОНДЕНСАЦИИ**

*Соотношение изомеров гептана в жидкостях, полученных при  $I=45$  мА и  $Q=1000$  м<sup>3</sup>/ч (пропановое охлаждение)*

Изомер	Природный газ	Попутный нефтяной газ
2,2-диметилпентан	0,07 	0,10 
2,4-диметилпентан	0,01 	0,01 
2,2,3-триметилбутан	0,59 	0,42 
3,3-диметилбутан	0,10 	0,05  +
2-метилгексан	0,03 	0,03 
2,3-диметилпентан	0,11 	0,31 
3-метилгексан	0,01 	0,07 
3-этилпентан	0,08 	0,01  +

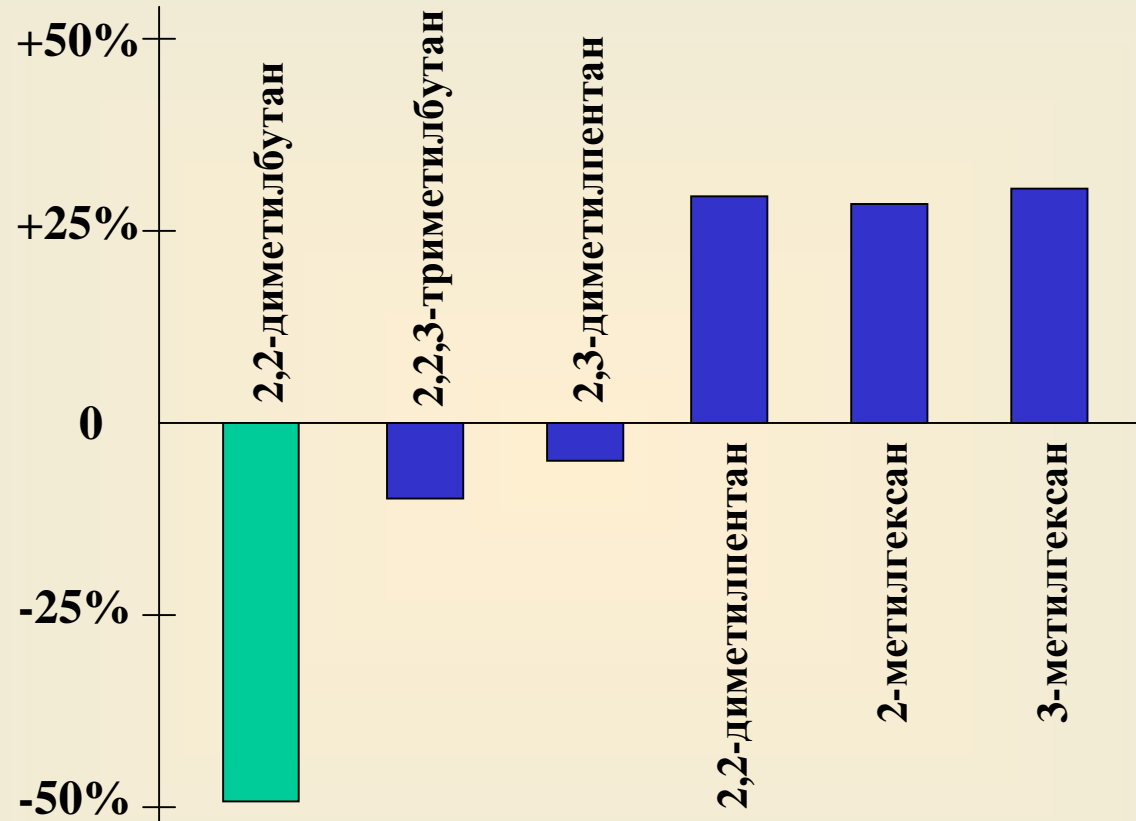
Основные изомеры C<sub>8</sub> - 2,2,3-триметилпентан, 2,2,3,3-тетраметилбутан и 2,3,3-триметилпентан

## ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ДОЗЫ (тока в пучке)



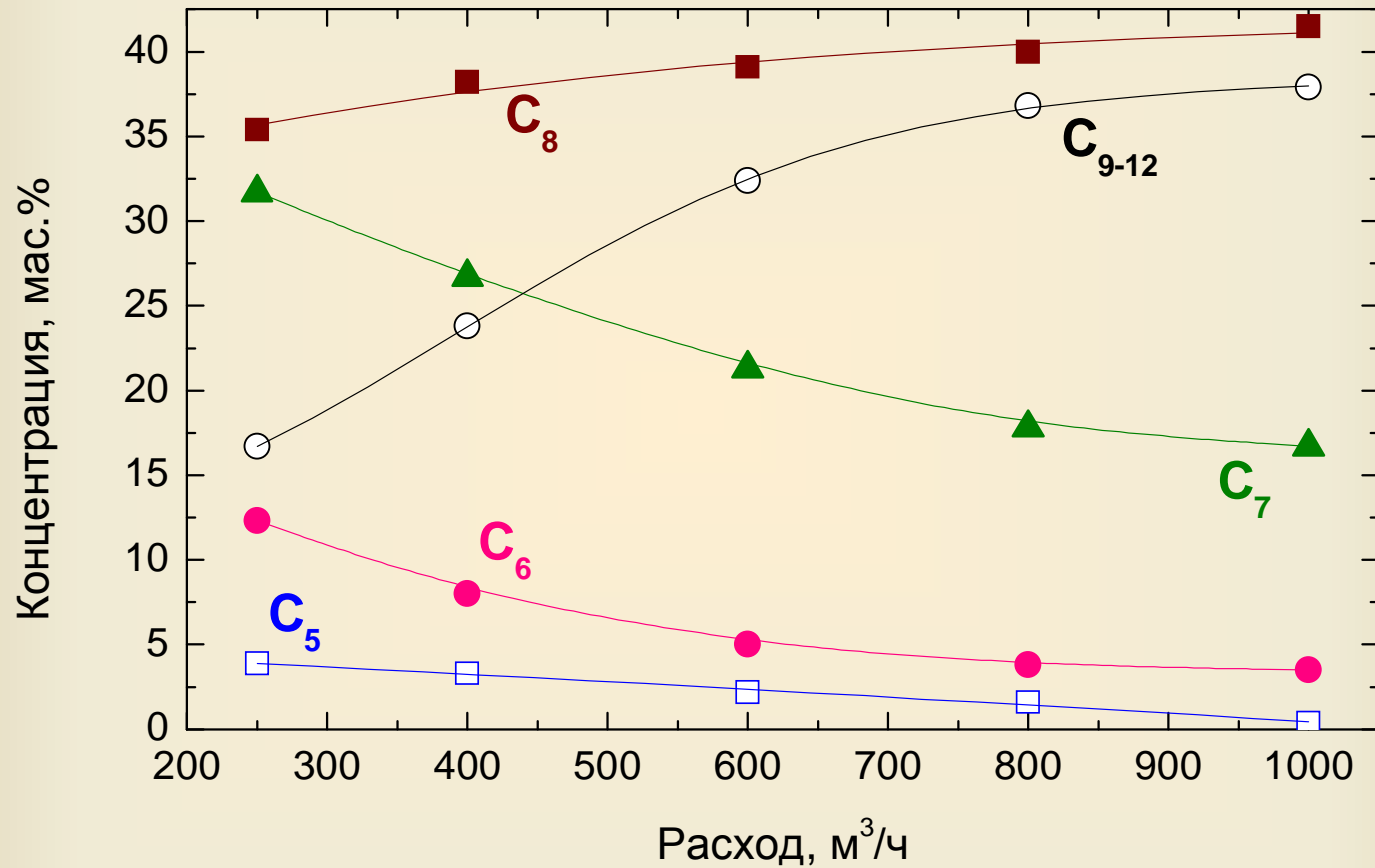
**Влияние мощности дозы на распределение изомеров гексана и гептана  
(попутный нефтяной газ,  $Q \leq 400 \text{ м}^3/\text{ч}$ )**

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ГАЗА



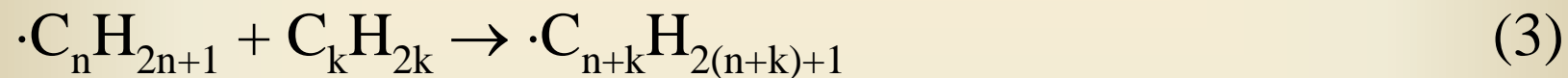
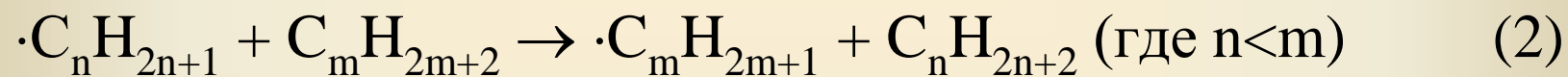
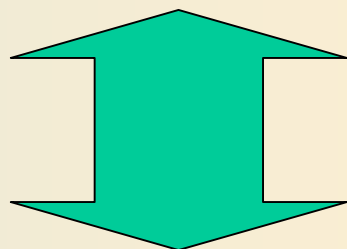
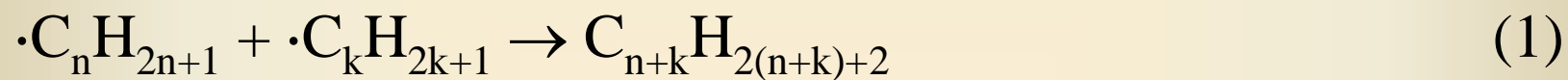
Изменения в продукте при увеличении расхода циркуляции газа от 250 до 1000 м<sup>3</sup>/ч (попутный нефтяной газ, I=30 мА)

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ЦИРКУЛЯЦИИ ГАЗА

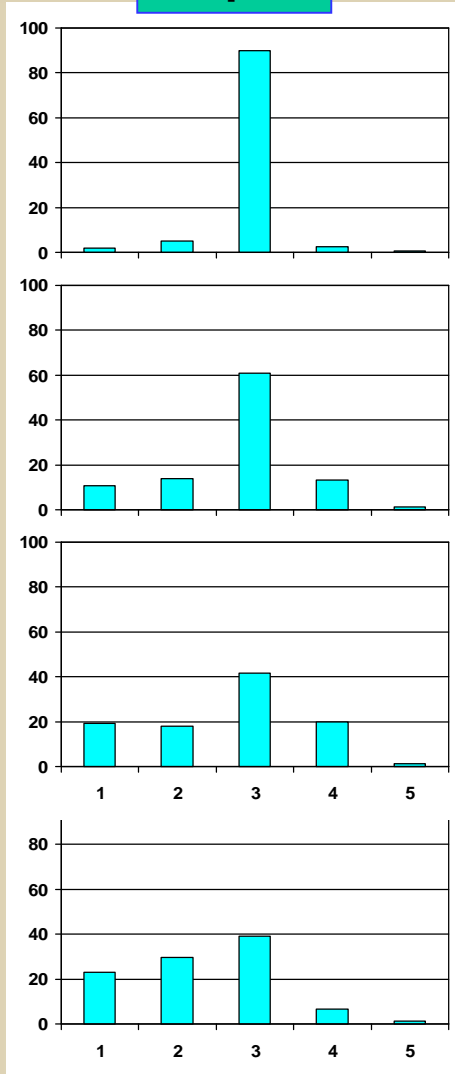


**Изменение фракционного состава продукта от расхода циркуляции попутного нефтяного газа при токе пучка 30 мА и пропановом охлаждении.**

## КОНКУРИРУЮЩИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

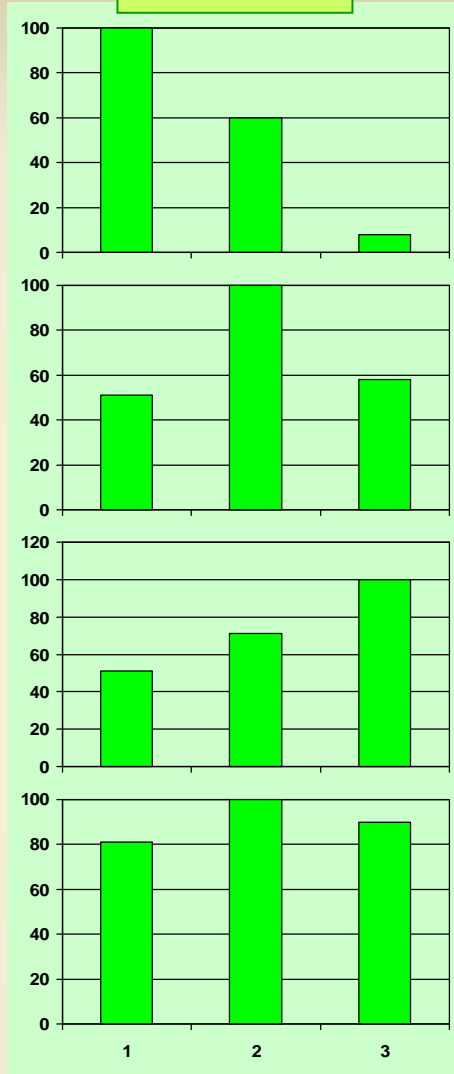


**сырьё**



- 1 – метан
- 2 – этан
- 3 – пропан
- 4 – бутан
- 5 – пентан

**гексаны**



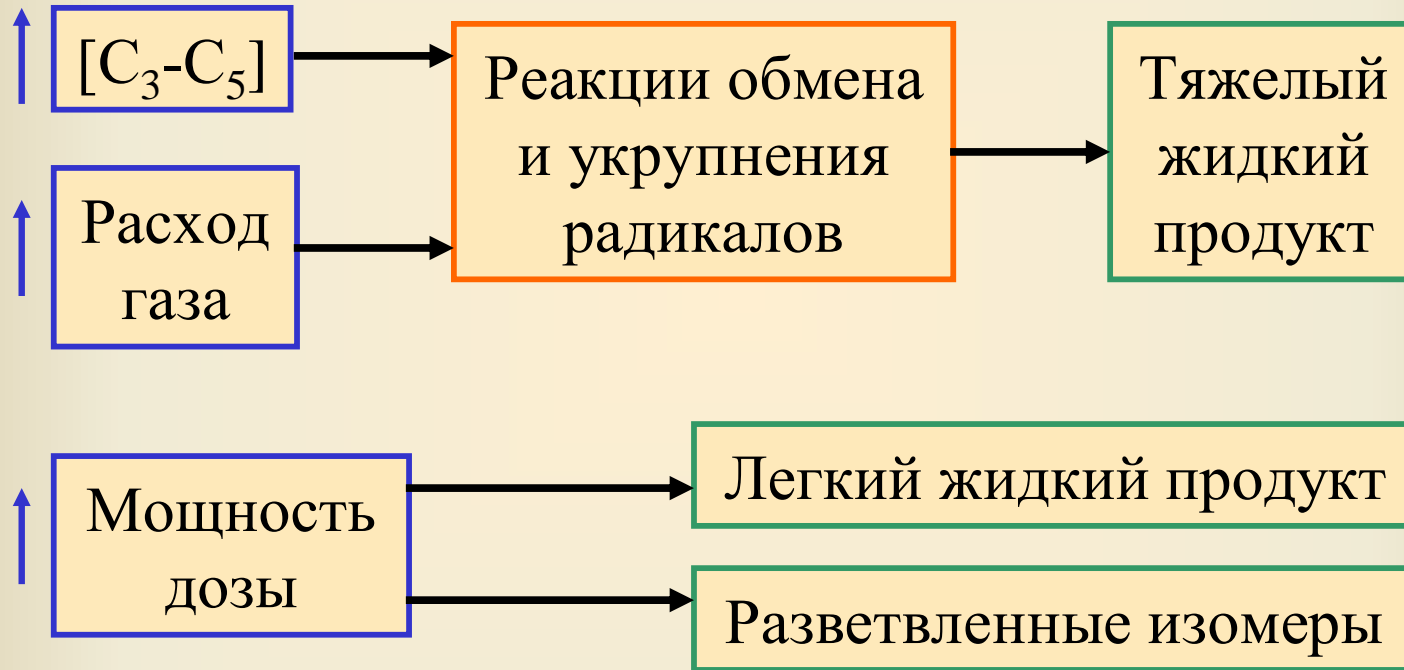
- 1 – 2,3-диметилбутан
- 2 – 2-метилпентан
- 3 – 3-метилпентан

**гептаны**



- 1 – 2,2-диметилпентан
- 2 – 2,4-диметилпентан
- 3 – 2,2,3-триметилбутан
- 4 – 3,3-диметилпентан
- 5 – 2,3-диметилпентан

## ОСНОВНЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ ФАКТОРЫ



## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТА

### Фракционный состав продукта из природного и попутного нефтяного газов

Стадии фракционирования	Температура, °С		
	Фактически		Требования ГОСТ
Начало кипения	35	35	Не ниже 35
Отгонка 10 %	65-67	62-68	Не выше 70
Отгонка 50 %	98-103	105-115	Не выше 115
Отгонка 90 %	166	175-181	Не выше 180
Конец кипения	171-183	184-200	Не выше 195
Остаток в колбе, %	1,1-1,5	1,3-3,0	Не более 1,5

### Детонационная стойкость стабильного газового бензина в смеси с синтезированным продуктом

Содержание в смеси, об. %		Октановое число	
Исходный бензин	Синтетический продукт	Исследователь-ский метод	Моторный метод
100	-	64	63
94	6	75	72
83	17	94	84
78	22	96	86
71	29	97	87
67	33	99	87

## ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МЕТОДА

<b>Качество продукта</b>	<b>Уникальные изомеры. Октановое число выше 100. Отсутствие непредельных соединений. Фракционный состав соответствует бензинам.</b>
<b>Регулируемость переработки</b>	<b>Переработка может быть мгновенно остановлена или возобновлена.</b>
<b>Условия переработки</b>	<b>Давление не выше 2 ати. Подогрев не требуется. Химические реагенты и носители не требуются.</b>
<b>Металлоемкость</b>	<b>Переработка состоит из одного передела. Высокая единичная мощность излучателей позволяет сокращать число аппаратов.</b>
<b>Полнота конверсии</b>	<b>Газообразные углеводороды перерабатываются полностью. Неутилизируемые отходы отсутствуют.</b>
<b>Аппаратурное оформление</b>	<b>Модульное исполнение.</b>
<b>Использование энергии</b>	<b>КПД преобразования в ускорителе 93%. КПД использования пучка <math>\geq 85\%</math>.</b>
<b>Производительность</b>	<b><math>\sim 0,2</math> кг/кВт×ч.</b>

Оптовые цены на отдельные изомеры на мировом рынке

<i>Изомер</i>	<i>\$/10 г</i>	<i>Изомер</i>	<i>\$/10 г</i>
2-метилоктан	4225	2,6-диметилоктан	3386
3-этилоктан	2083	2,2-диметилоктан	2939
3-этилгексан	2380	3,3-диметилоктан	2703
3-этилпентан	3445	3,3-диметилгексан	4170
3-метилоктан	1228	3,4-диметилгексан	2525
4-метилгептан	3770	4,4-диметилоктан	2703

## Энергетика электронно-лучевой конверсии газов

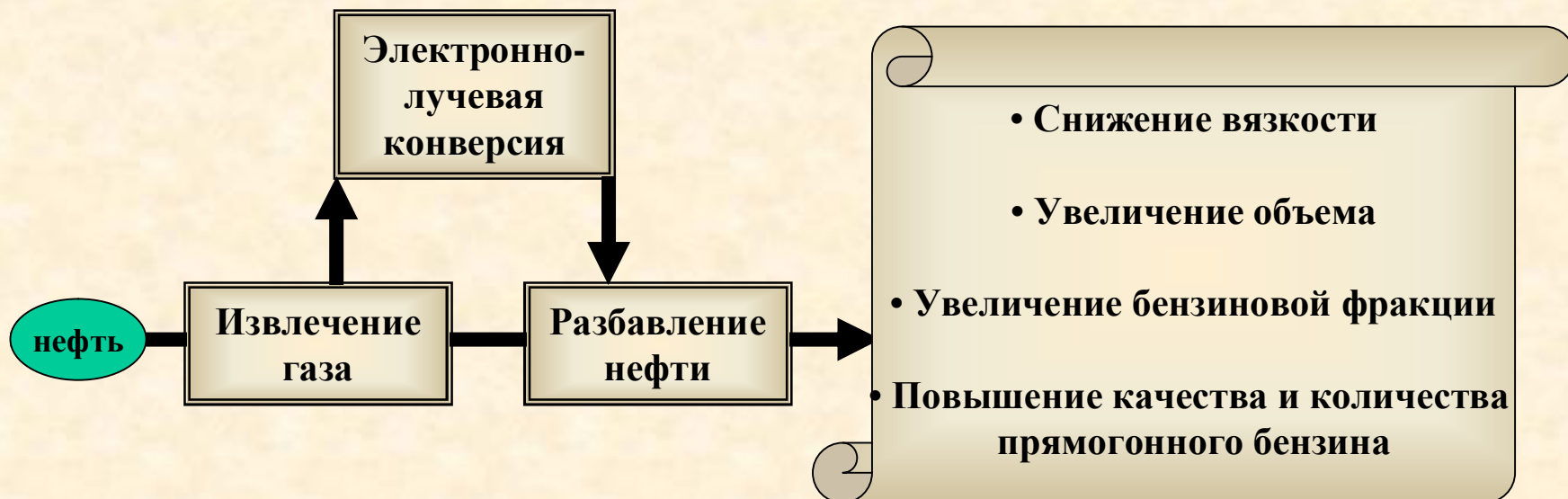
Соединение	Энергозатраты, МГр	Теплота сгорания, МГр
Метан	43	55
Этан	23	52
Пропан	16	50
Бутан	12	49
Попутный нефтяной газ	22	48

### Срок окупаемости затрат

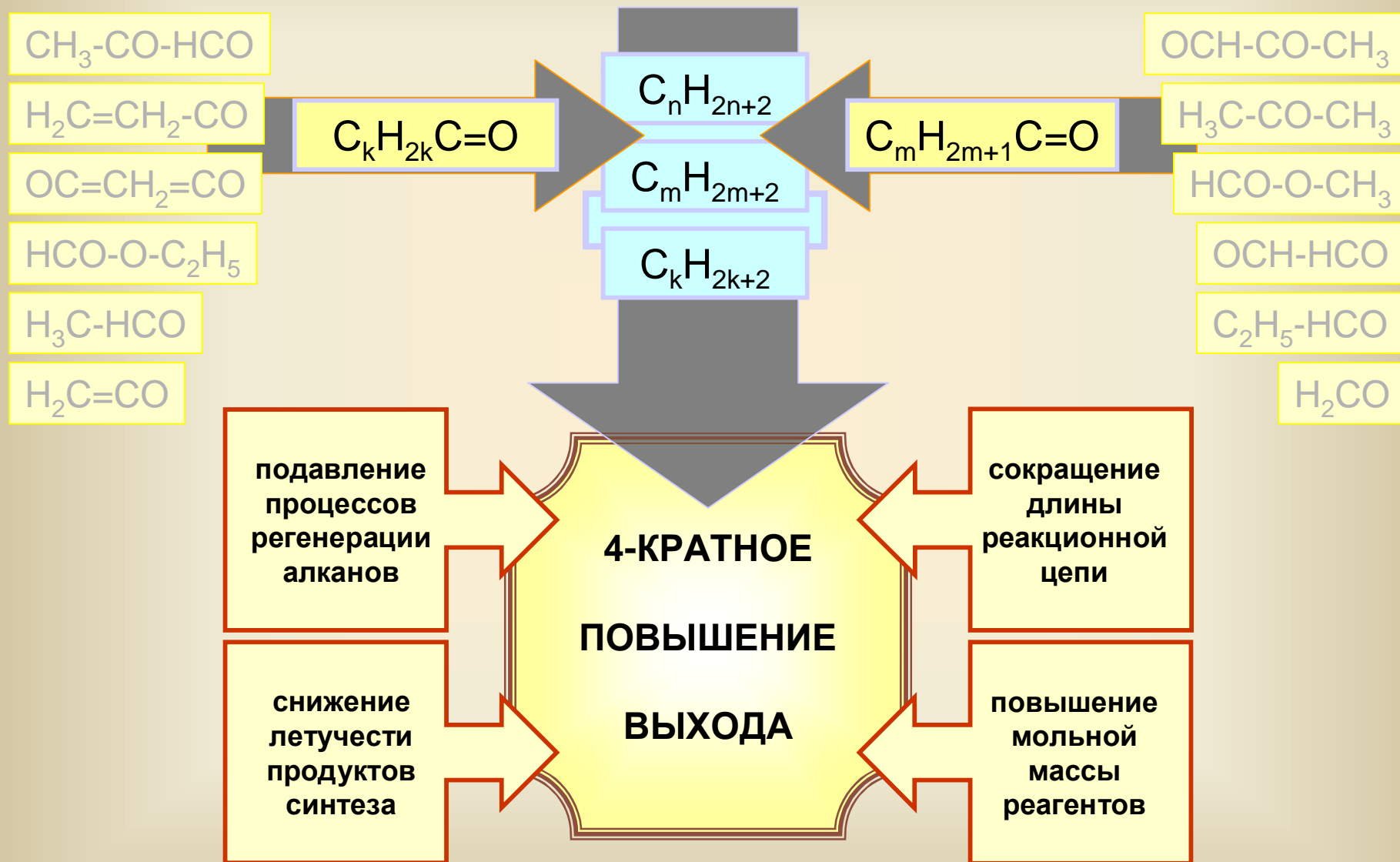
При реализации бензина и $H_2$	5-6 лет
При реализации бензина и изомеров	<1 год

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

- Использование продукта как высококачественной антидетонационной добавки к бензинам (10-15%)
- Совмещение синтеза бензина с синтезом изобутана и изопентана
- Использование продукта для коррекции нефти



# СОВМЕСТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ГАЗА С БИТУМОМ ИЛИ ДРЕВЕСИНОЙ

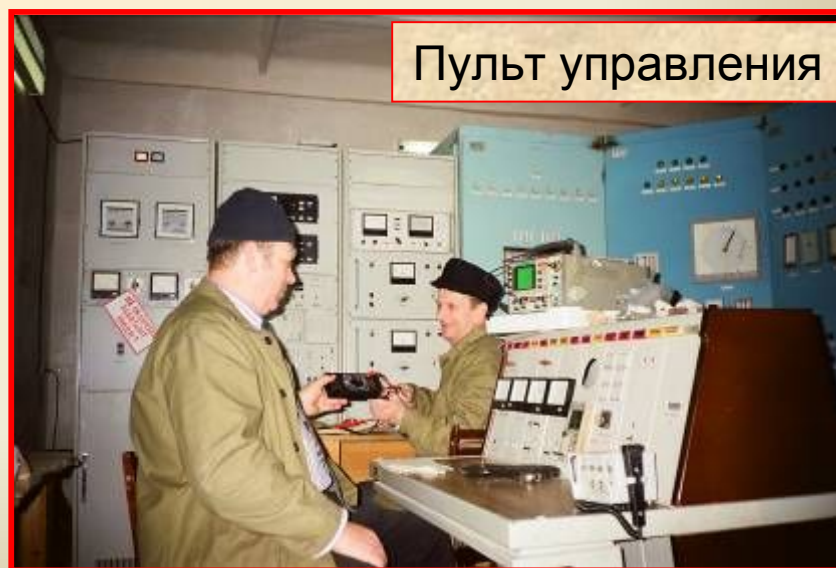




Ускорительная трубка



Высоковольтная структура



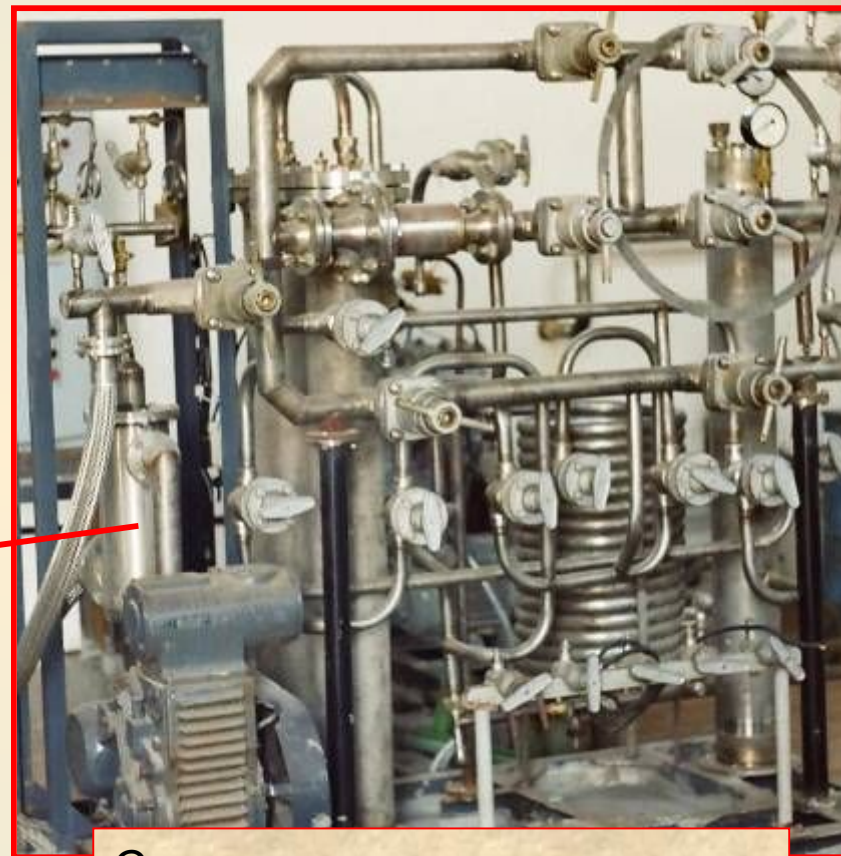
Пульт управления



Монтаж высоковольтного генератора



Реакционный блок



Система кондиционирования ускорителя



Раструб ускорителя

Реакционный сосуд



Трубопроводная эстакада установки



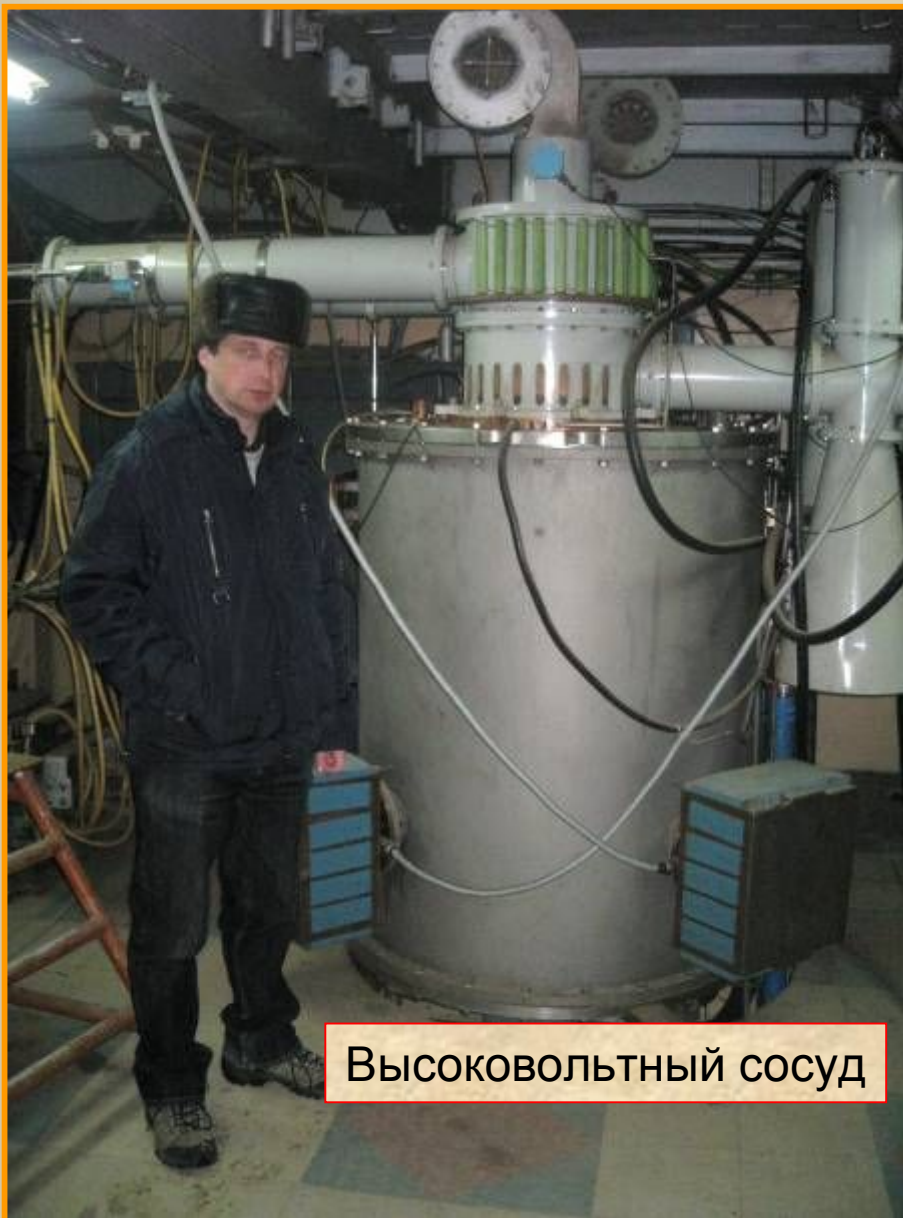
Емкость исходного газа →

↑  
Газо-жидкостной сепаратор





Раструб ускорителя  
нового поколения.  
 $W = 500$  кВт



Высоковольтный сосуд



Система управления пучком



Пульт управления



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**