



# НИПИГАЗ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ГАЗА

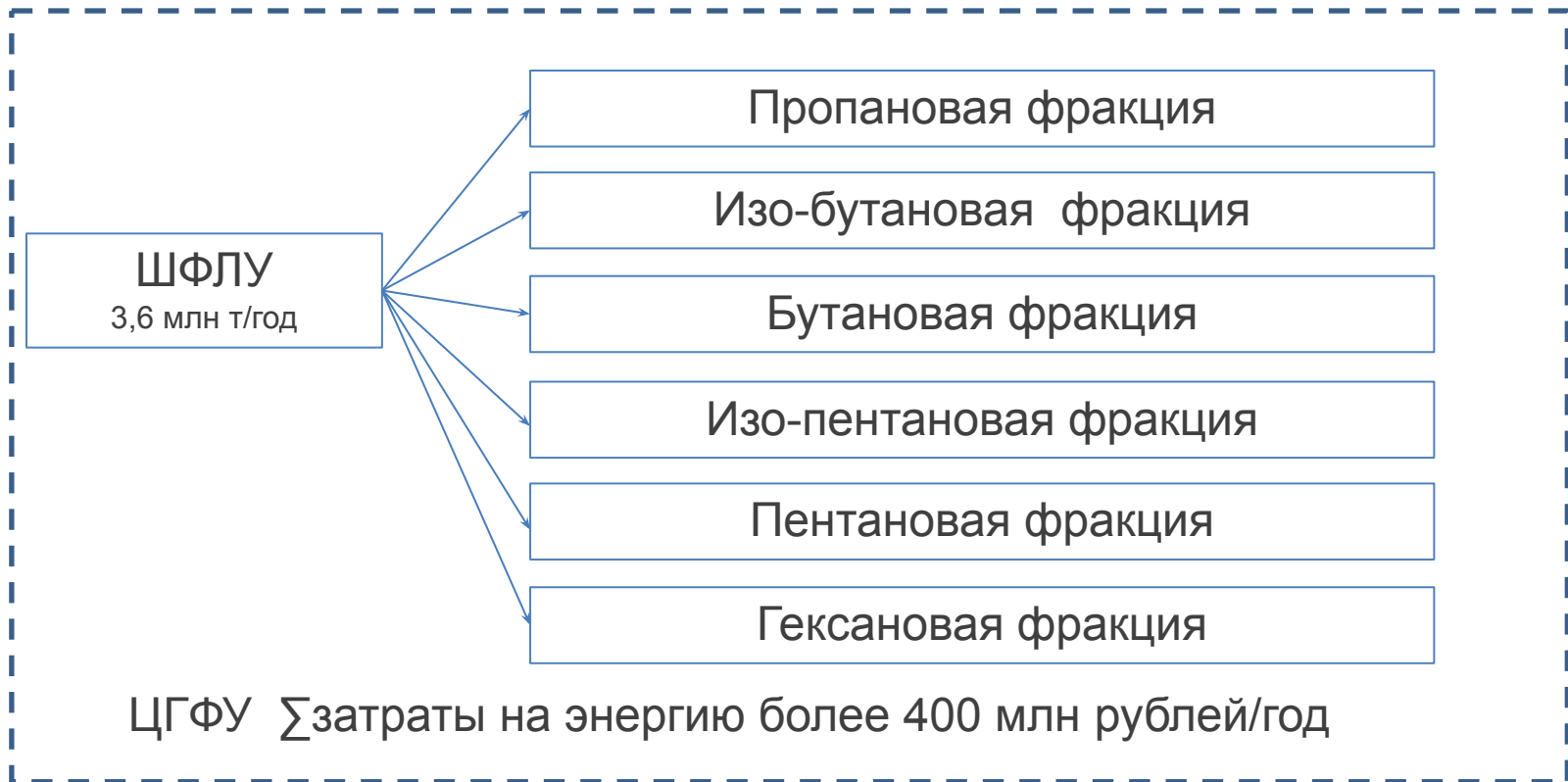
## «ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ ОБРАТИМОЙ РЕКТИФИКАЦИИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ В РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССАХ

Докладчик: Литвиненко А.В.

г. Геленджик, сентябрь 2011 года

- Постановка задачи на примере ГФУ газоперерабатывающего предприятия 3
- Принципы термодинамически обратимой ректификации 4
- Возможные узлы для применения принципов ТДОР на ГФУ 5
- Анализ возможных вариантов разделительных схем 6
- Анализ термодинамической эффективности разделительных схем 7
- Технологические ограничения разделительных схем 8
- Аппаратурные ограничения разделительных схем 9
- Выбор варианта внедрения 10
- Экспериментальное подтверждение проведенных расчетов 11
- Оценка экономического эффекта проекта (NPV) 12
- Выводы 13

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ НА ПРИМЕРЕ ГФУ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ



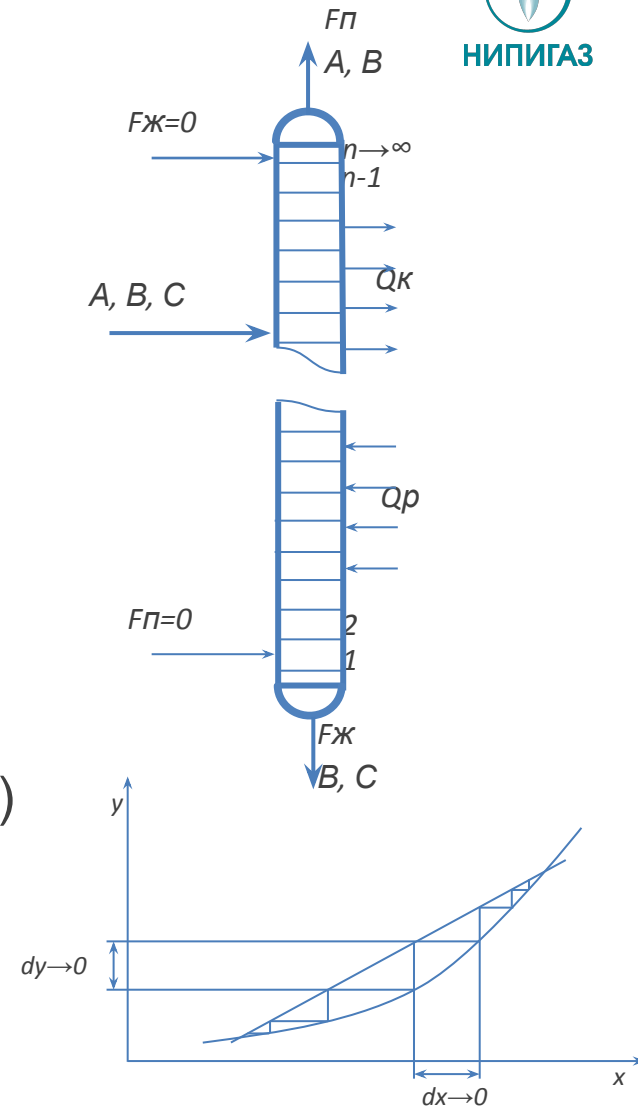
## ЗАДАЧА:

Снизить энергетические затраты на разделение ШФЛУ на газофракционирующей установке и получить экономический эффект

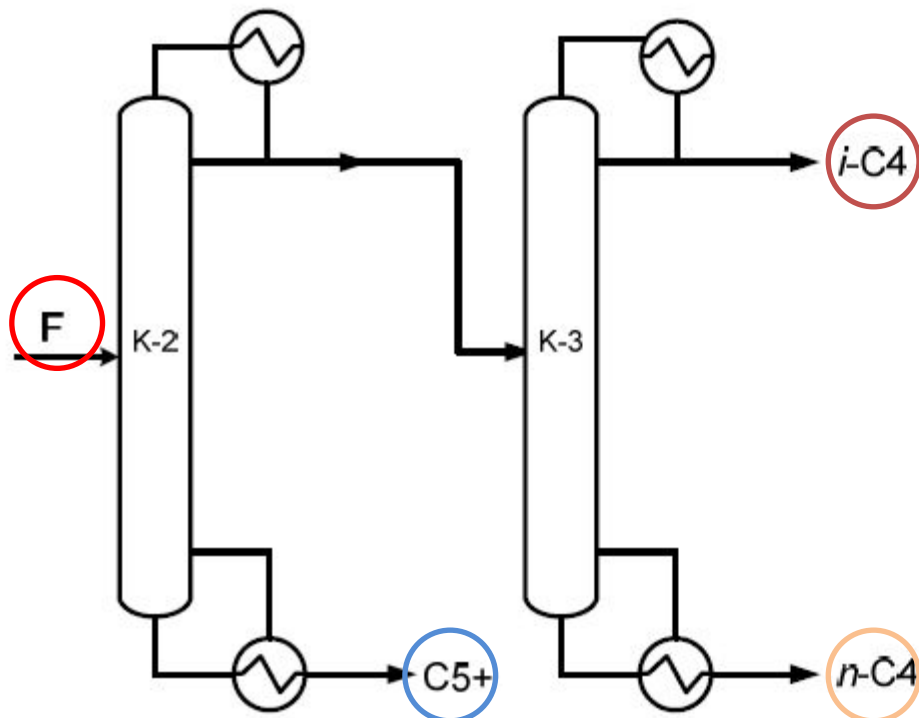
# ПРИНЦИПЫ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИ ОБРАТИМОЙ РЕКТИФИКАЦИИ



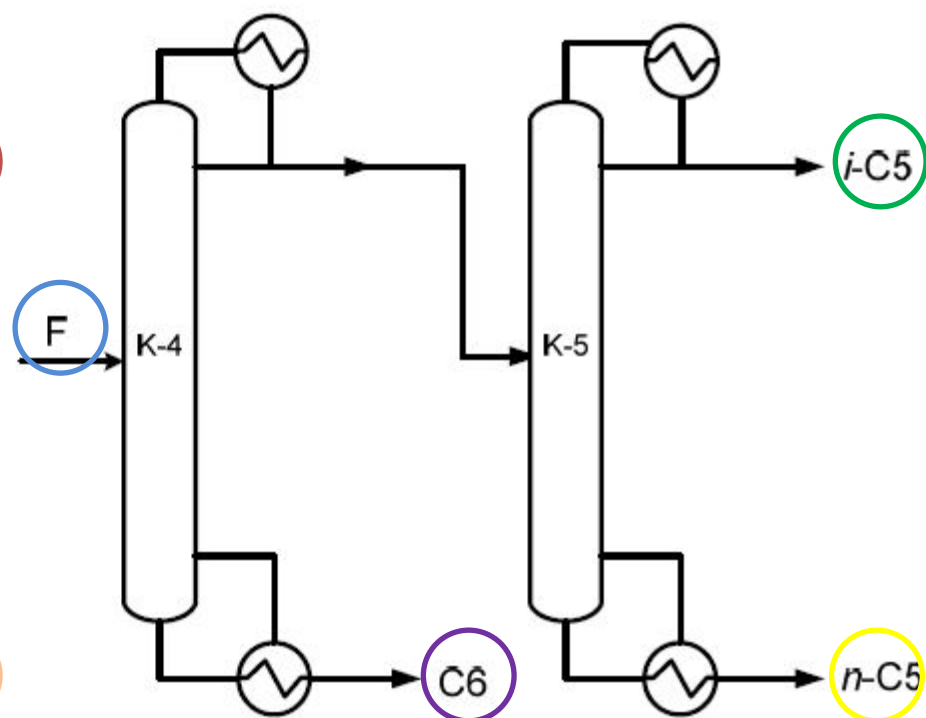
- Бесконечное число ступеней разделения
- Малые движущие силы (бесконечно малое изменение концентраций и потоков контактирующих фаз)
- Дифференциальный подвод тепла к исчерпывающей и отвод тепла от укрепляющей секции колонны (нулевые потоки пара в нижнем сечении и нулевые потоки жидкости в верхнем сечении колонны)
- Полностью распределенные между кубом и дистиллятом компоненты с промежуточной относительной летучестью



# ВОЗМОЖНЫЕ УЗЛЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ТДОР НА ГФУ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ



$\Sigma$ затраты на энергию более 200 млн. руб./год



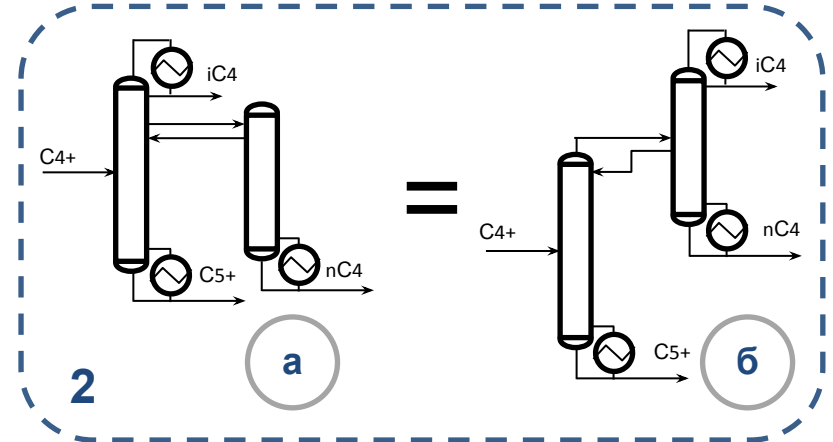
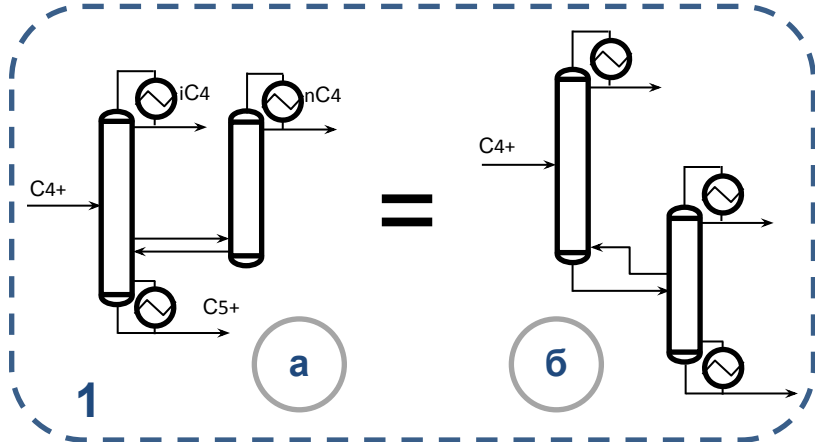
$\Sigma$ затраты на энергию более 85 млн. руб./год

# АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ВАРИАНТОВ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМ

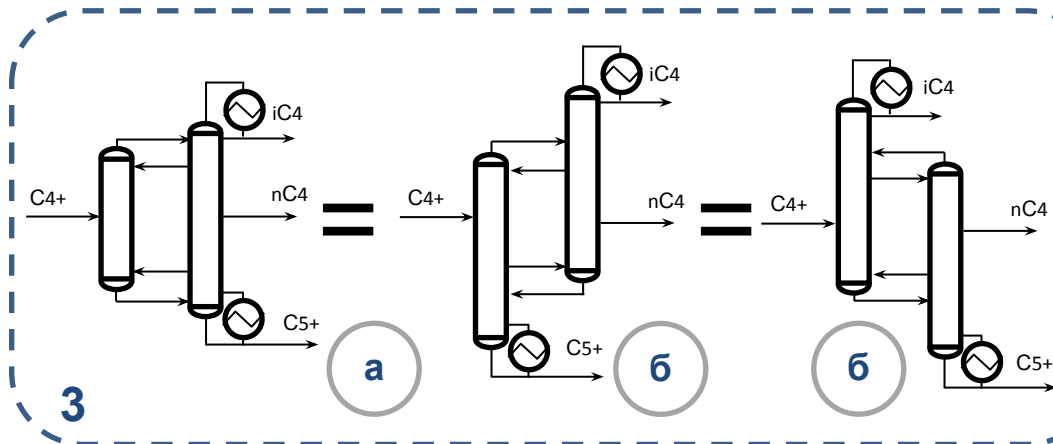


НИПИГАЗ

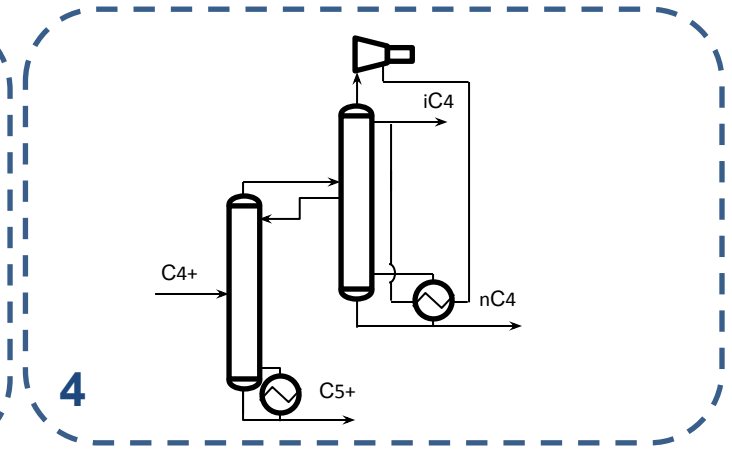
Частично связанные тепловые и материальные потоки  
Partially thermally coupled distillation sequences (PTCDS)



Полностью связанные тепловые и материальные потоки  
Fully thermally coupled distillation sequences (FTCDS)



PTCDS+тепловой насос (НП)



Колонна Петлюка  
Petlyuk column

# АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМ



НИПИГАЗ

$$\eta = \frac{A_{min}}{A_{\Pi} + A_{min}}$$

- термодинамическая эффективность разделения  
(по второму началу термодинамики)

где

$$A_{\Pi} = \sum_{\text{ВХОДЫ}} (n \cdot \varepsilon + Q \cdot (1 - \frac{T_0}{T_c}) + W_s) - \sum_{\text{ВЫХОДЫ}} (n \cdot \varepsilon + Q \cdot (1 - \frac{T_0}{T_c}) + W_s)$$

- потерянная работа  
(баланс эксергии)

$$A_{min} = \sum_{\text{ВХОДЫ}} n \cdot \varepsilon - \sum_{\text{ВЫХОДЫ}} n \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon = h - T_0 \cdot s$$

$h$

$T_0$

$T_c$

$s$

$n$

$Q$

- минимальная работа разделения

- функция эксергии (способность  
системы совершать работу)

- энтальпия массовая

- температура окружающей среды

- температура системы

- энтропия массовая

- массовый расход вещества

- теплота

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМ



Показатель	Классическая схема	PTCDS		FTCDS	PTCDS+ HP
		Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
Потребление тепла, кВт	89 400	85 700	80 100	63 800	37 400
Потребление холода, кВт	98 300	93 900	88 300	70 800	32 300
Сравнение по теплу, %	100	96	89	71	42
Сравнение по холоду, %	100	95	90	72	33

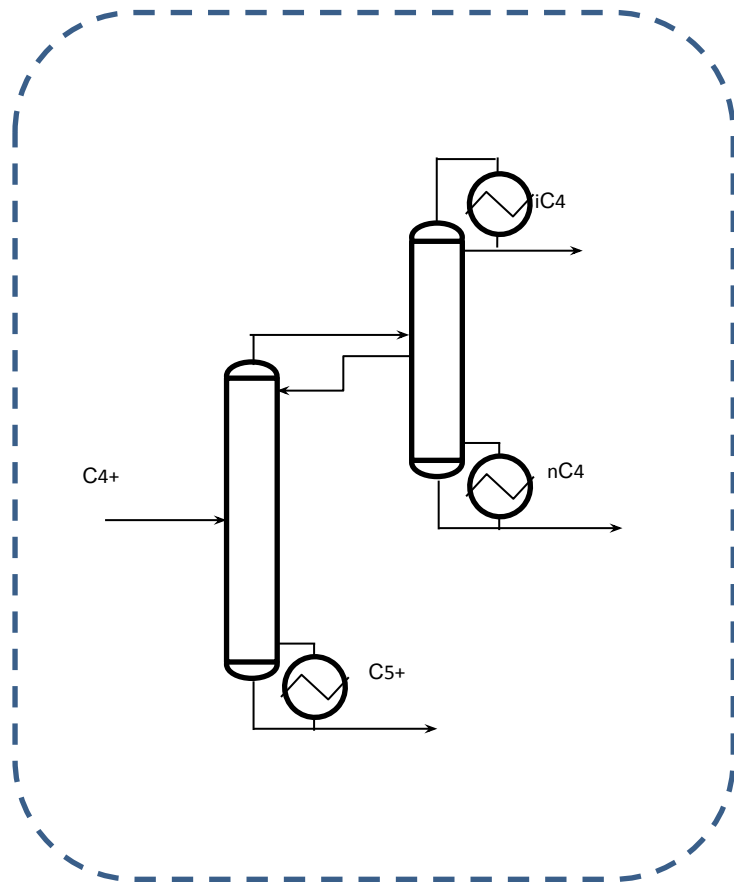


# АППАРАТУРНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СХЕМ

Показатель	Классическая схема	PTCDS		FTCDS	PTCDS+ HP
		Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
Количество теоретических ступеней контакта	250	275	280	350	280
Сравнительная нагрузка на колонные аппараты, %	100	150	145	122	142
Управляемость	хорошая	хорошая	хорошая	плохая, с возможностью улучшения	удовлетворительная, с возможностью улучшения
Аппаратурное оформление	средняя сложность	простое	простое	сложное	сложное

# ВЫБОР ВАРИАНТА ВНЕДРЕНИЯ ПРИНЦИПОВ ТДОР НА ГФУ ГАЗОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

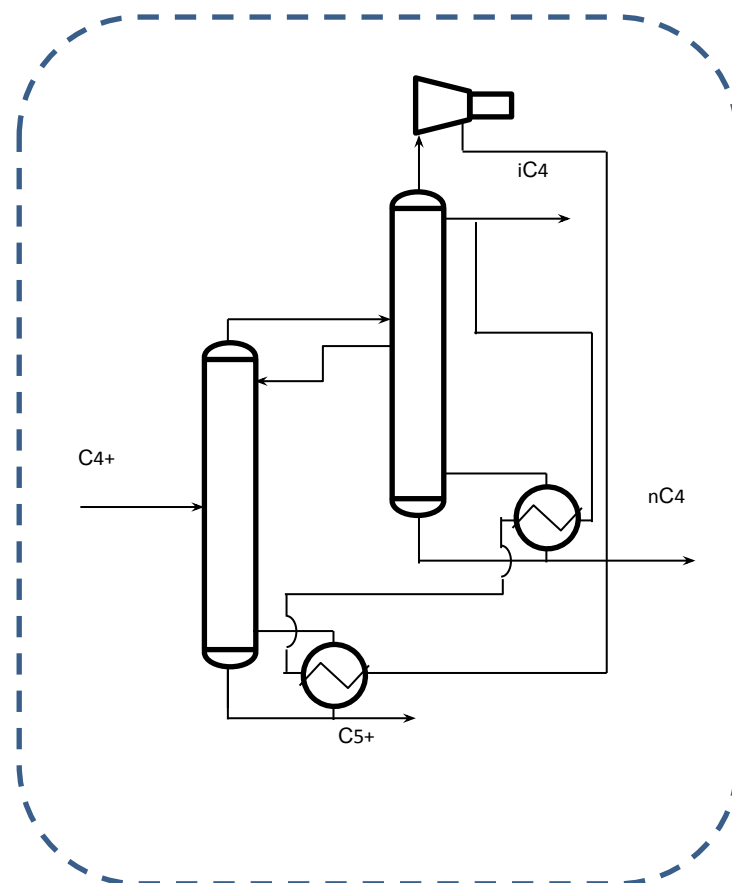
## PTCDS



### Этап 1



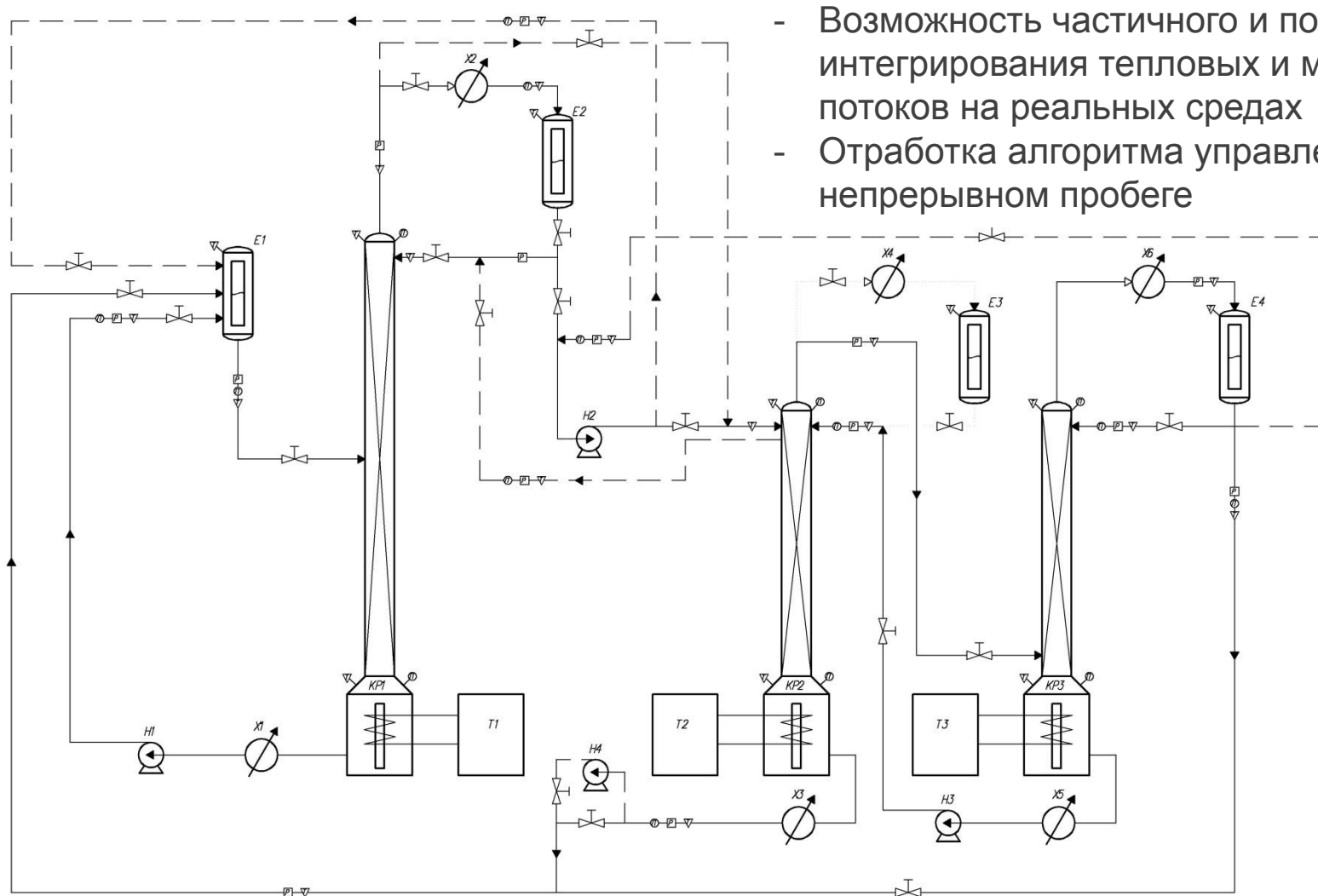
## PTCDS+HP



### Этап 2

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ПРОВЕДЕННЫХ РАСЧЕТОВ

Экспериментальная установка по термодинамически обратимой ректификации



- Возможность частичного и полного интегрирования тепловых и материальных потоков на реальных средах
- Отработка алгоритма управления при непрерывном пробеге

Аппараты: КР1, КР2, КР3 – ректификационные колонны; Т1, Т2, Т3 – термостаты; Е1 – емкость для сырья; Е2, Е3, Е4 – емкости орошения; Н1, Н2, Н3, Н4 – насосы; Х1, Х2, Х3, Х4, Х5, Х6 – водяные холодильники.

Показатель	Значение
Чистый денежный поток (NPV), тыс. руб.	887 000
ВНД на полные инвестиции годовая, (IRR), %	50
Дисконтированный срок окупаемости проекта, (DPP), лет	4,8
Капиталовложение (CAPEX), млн рублей	437

1. Принципы термодинамически обратимой ректификации – реальный инструмент значительного сокращения эксплуатационных затрат на разделение продуктов, а в ряде случаев и капитальных затрат
2. По отношению к известным технологическим приемам данный инструмент обладает аддитивным эффектом
3. Для широкого внедрения инструмента необходимо совершенствование массообменных устройств и аппаратурного оформления разделительных систем.

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**

© ОАО «НИПИгазпереработка», 2011