

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Технологический факультет
Кафедра «Газохимия и моделирование химико-технологических процессов»

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ПРОЦЕССА АМИНОВОЙ ОЧИСТКИ ЖИРНЫХ ГАЗОВ

Шарафутдинов Эмиль
shar-emil@mail.ru
+79876131598

✔ Применение цифровых двойников

- Снижение риска аварий
- Повышение качества
- Энергоэффективность
- Минимизация человеческого фактора



Цель проекта



Разработать проект цифрового двойника процесса аминовой очистки жирного газа раствором моноэтаноламина на базе реальной установки ГФУ-1 ООО «Газпром нефтехим Салават»

Задачи

Шаг 1

Имитационная
модель

Разработка модели процесса
аминовой очистки в **UniSim Design**

Шаг 2

Машинное
обучение


Разработка модели машинного
обучения в **Python (SciKit-Learn)**

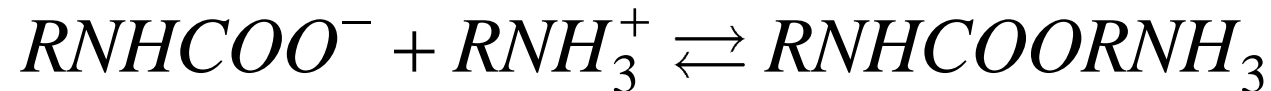
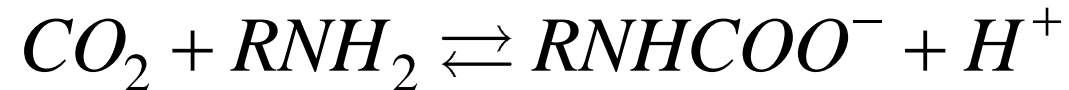
Шаг 3

Бизнес-план
проекта

Разработка **бизнес-плана** и
оценка экономики проекта

 Хемосорбционный процесс удаления кислых примесей

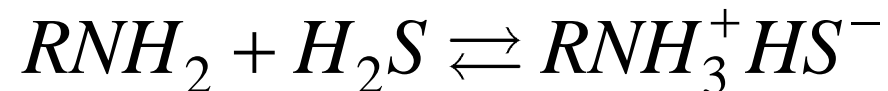
 Поглощение CO_2 , быстрый механизм:



 Поглощение CO_2 , медленный механизм:

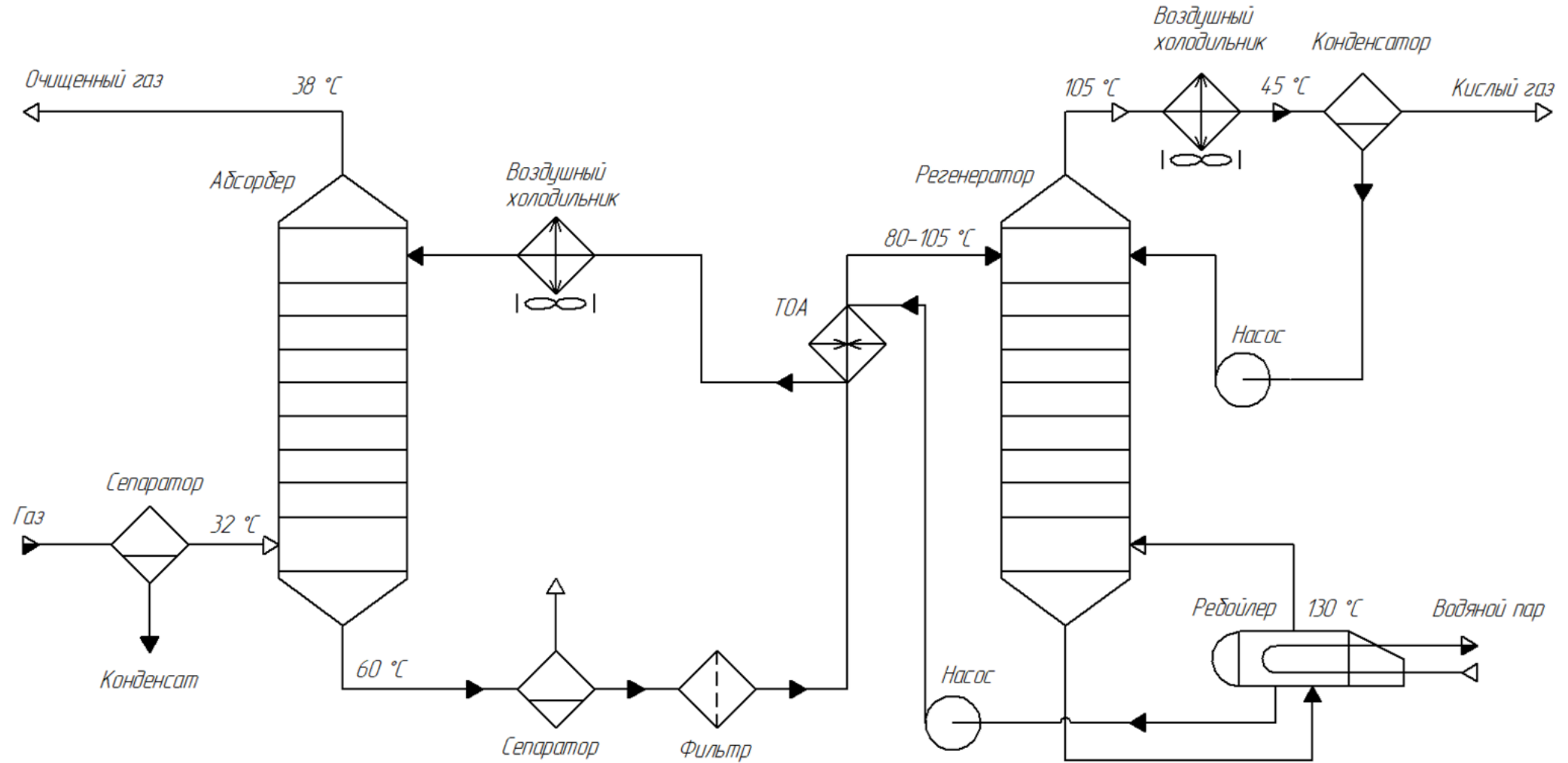


 Поглощение H_2S :

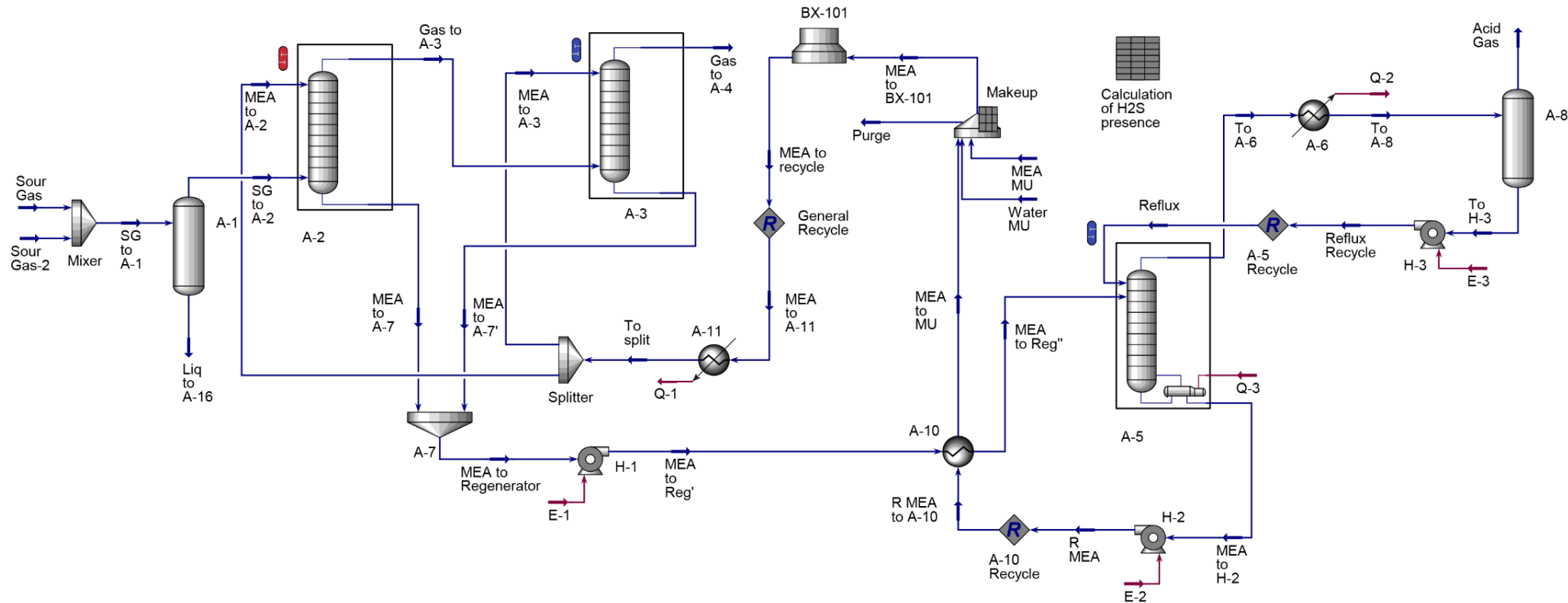


Типичная схема процесса

6



ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ



Приход			Расход		
Поток	Массовый расход, кг/ч	% масс.	Поток	Массовый расход, кг/ч	% масс.
Water MU	95,18	1,14	Gas to A-4	8275,46	99,40
MEA MU	0,18	0,002	Acid Gas	49,90	0,60
Sour Gas-2	4230	50,81			
Sour Gas	4000	48,05			
Сумма	8325,36	100,00	Сумма	8325,36	100,00

Материальный баланс абсорбера А-2

8






Приход			Расход		
Наименование потока	кг/ч	% масс.	Наименование потока	кг/ч	% масс.
Кислый газ, в т. ч.:	8230,00	40,68	Очищенный газ, в т. ч.:	8272,58	40,89
Водород	20,33	0,25	Водород	20,33	0,25
Кислород	41,15	0,50	Кислород	41,15	0,50
Углеводороды C ₁ -C ₆	8001,37	97,22	Углеводороды C ₁ -C ₆	7999,72	96,70
H ₂ S	46,66	0,57	Сероводород	0,02	2,40·10 ⁻⁴
Азот	120,49	1,46	Вода	90,82	1,10
			Моноэтаноламин	0,06	7,21·10 ⁻⁴
			Азот	120,49	1,46
Абсорбент, в т. ч.:	12000,10	59,32	Насыщенный абсорбент, в т. ч.:	11957,53	59,11
Сероводород	6,23	0,05	Водород	0,001	1,24·10 ⁻⁵
Вода	10613,86	88,45	Кислород	0,005	3,99·10 ⁻⁵
Моноэтаноламин	1380,01	11,50	Углеводороды C ₁ -C ₆	1,65	0,01
			Сероводород	52,87	0,44
			Вода	10523,05	88,00
			Моноэтаноламин	1379,95	11,54
			Азот	0,01	5,99·10 ⁻⁵
Итого	20230,10	100,00	Итого	20230,10	100,00



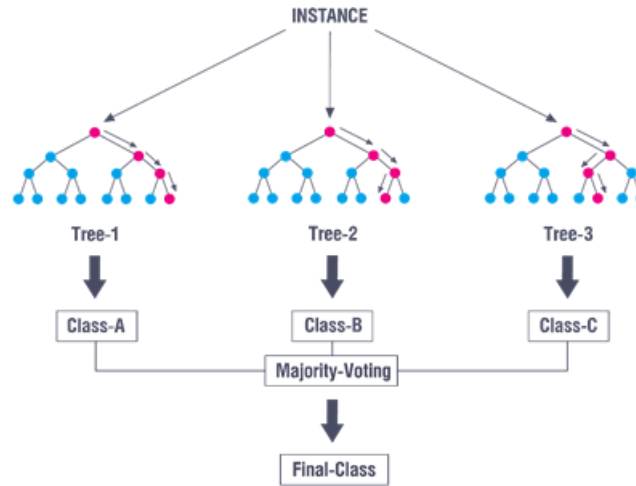
Содержание H₂S в очищенном газе **2,40 ppmw**

Цифровой двойник

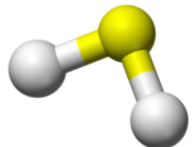
Входные
параметры

-  Расход газа
-  Состав газа
-  Расход абсорбента
-  Состав абсорбента
-  Температуры потоков

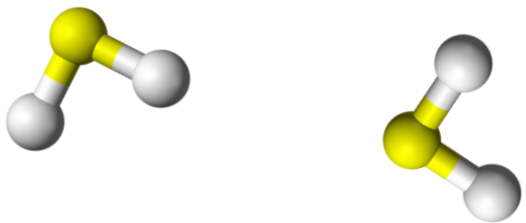
Алгоритм



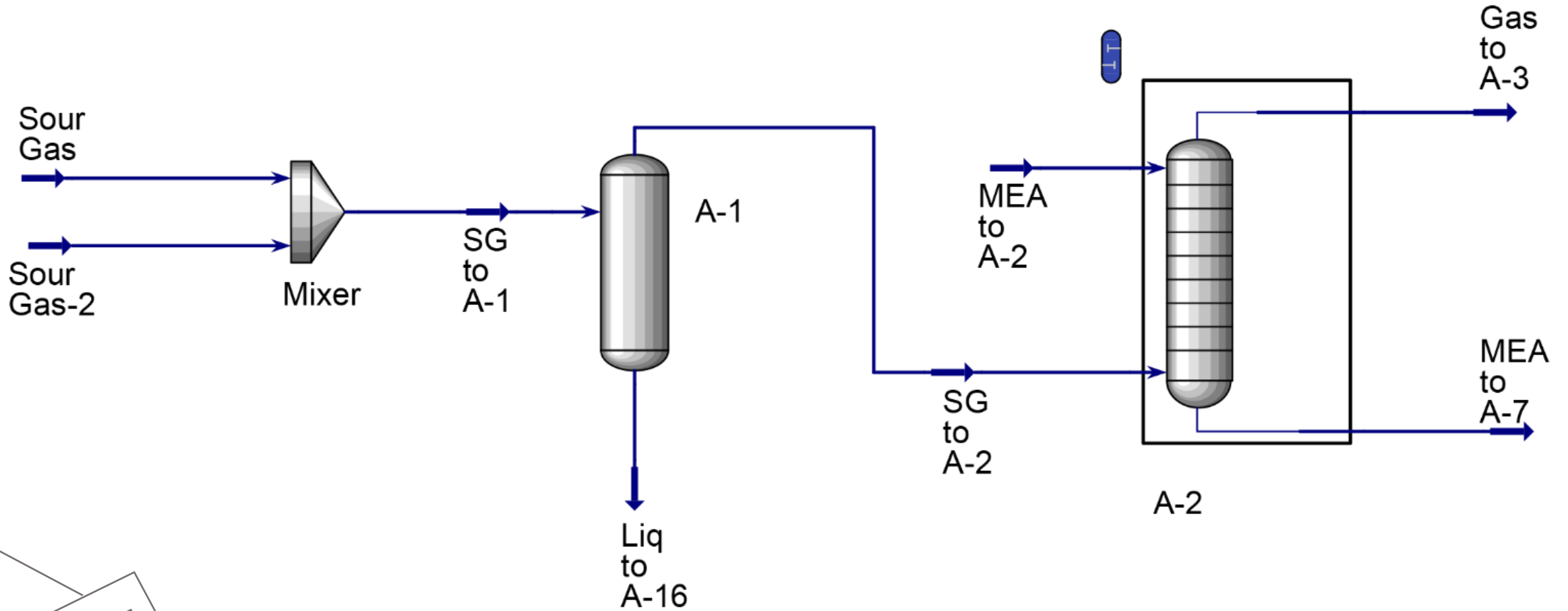
Выходные
параметры



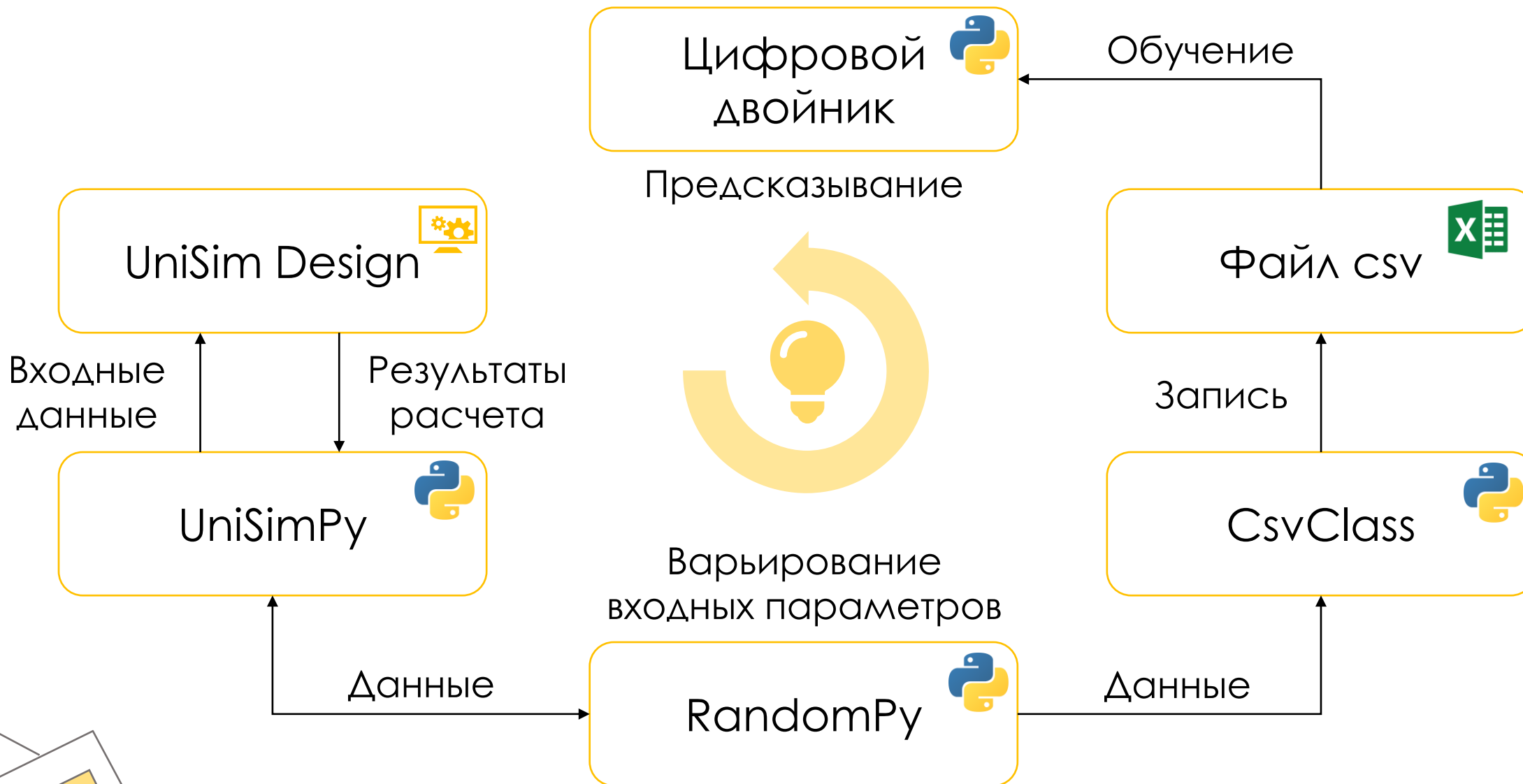
Содержание H₂S
в газе, **ppmw**



Упрощенная модель



Сбор данных и обучение



Пример работы модели



Входные параметры

Жирный газ

Расход – 8000 кг/ч

Содержание H_2S – 6 % масс.

Температура – 30 °C

Абсорбент

Расход – 11000 кг/ч

Содержание H_2S – 6 % масс.

Содержание МЭА – 10 % масс.

Температура – 28 °C



Результаты расчета

Цифровой двойник

Остаточное содержание H_2S

0,292 % масс.

UniSim Design

Остаточное содержание H_2S

0,298 % масс.

Ошибка предсказания

2,1 % < 5 %



Модель **адекватна** согласно критерию Фишера

Эффект использования модели

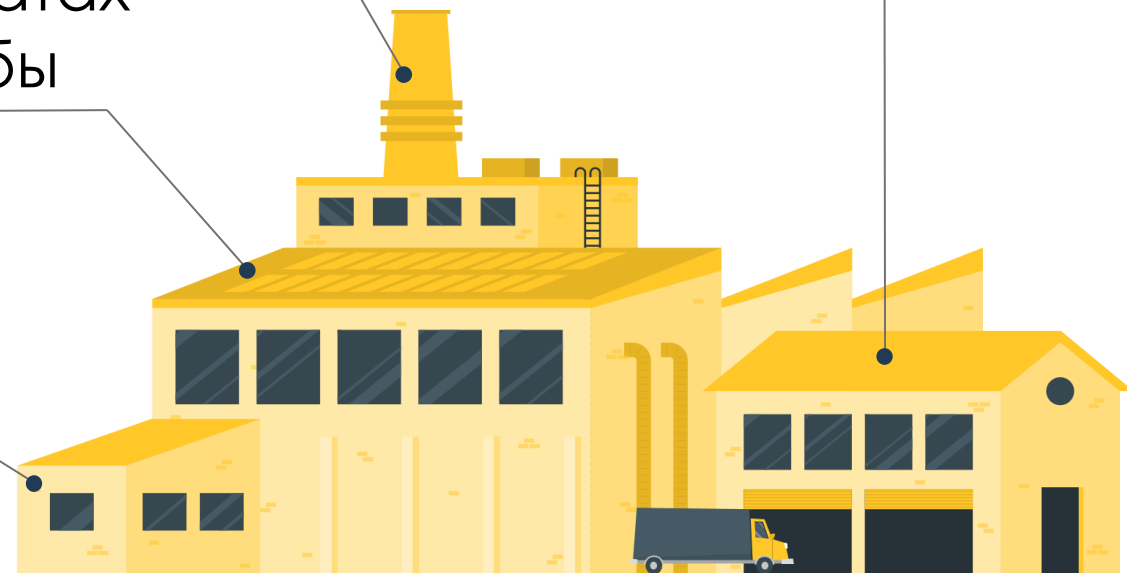
13

до 5 % Экономия на техобслуживании

до 7 % Экономия на энергоресурсах

до 7 % Экономия на капитальных затратах за счет увеличения срока службы

до 5 % Рост качества продукта



Функции

Прогнозирование содержания H_2S и CO_2

Рекомендации по ведению процесса

Команда

Front-end и Back-end разработчики

Группы сбора данных и тестирования

Инженеры-технологи



Продукт

Цифровой двойник процесса аминовой очистки

Целевая аудитория

Крупные нефтяные компании
Образовательные учреждения

Экономика проекта

 Временной период **5 лет**

 Ставка дисконта **16,5 %**

ЧДД 29894,6 тыс. руб.	CAPEX 34562,6 тыс. руб.	OPEX 8639,3 тыс. руб.	ВНД 50 %	ИД 1,87
------------------------------------	--------------------------------------	------------------------------------	--------------------	-------------------

 Срок окупаемости

Простой
22 месяца

Дисконтированный
27 месяцев

Заключение

- ✔ Разработана имитационная модель процесса аминовой очистки в UniSim Design
- ✔ Разработана модель машинного обучения для предсказания содержания H_2S в очищенном газе
- ✔ Разработан бизнес-план проекта цифрового двойника
- ✔ Произведена экономическая оценка проекта. Дисконтированный срок окупаемости – 27 месяцев