

ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Тушенцов Никита Вячеславович

Моделирование и управление процессом очистки газовой смеси от диоксида углерода

27.04.04 – Управление в технических системах

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание квалификации
магистра техники и технологии

Научный руководитель:
кандидат технических наук,
С.А. Скворцов

Тамбов, 2019 г.

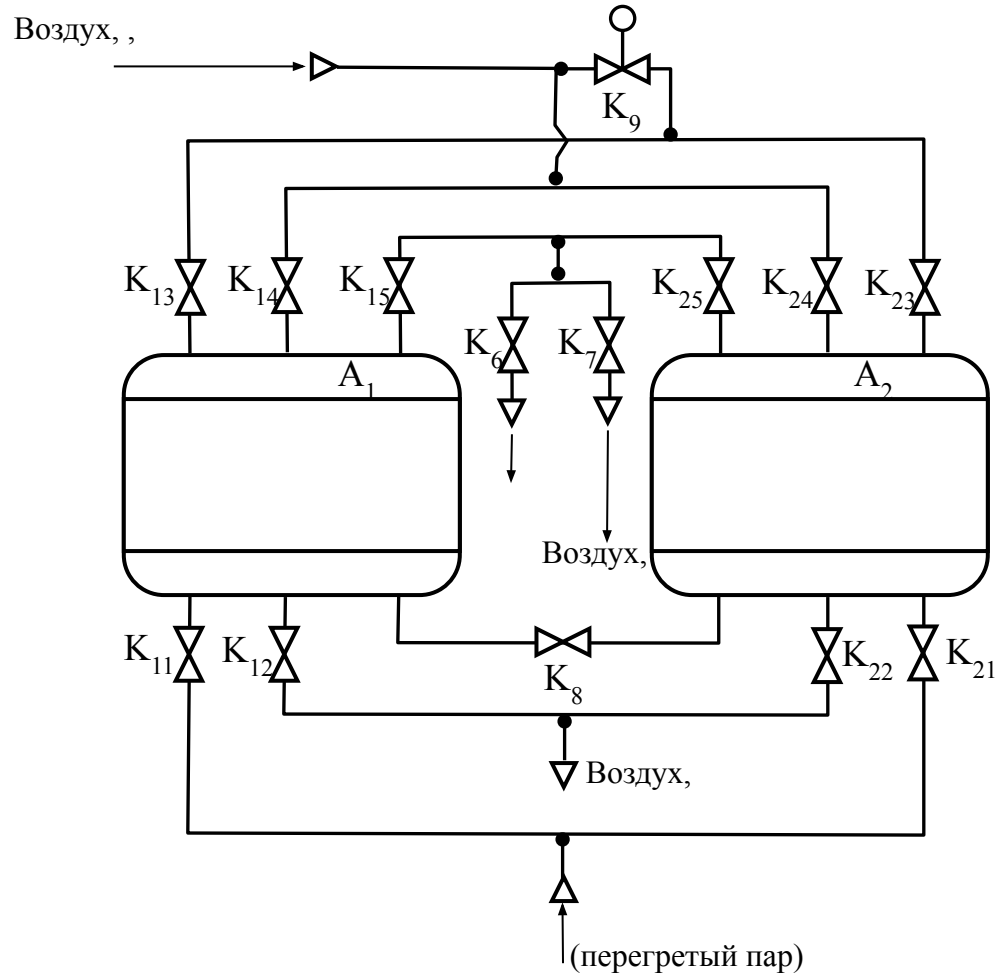
Целью научного исследования

Повышение эффективности системы управления процессом очистки газовой смеси от диоксида углерода, позволяющей повысить степень очистки газовой смеси от диоксида углерода при обеспечении энергоэффективности технологического процесса.

Задачи:

- провести анализ процесса очистки газовой смеси от диоксида углерода как объекта управления;
- разработать математическую модель очистки газовой смеси от диоксида углерода, позволяющую исследовать протекающие в нём динамические процессы;
- выполнить параметрическую идентификацию и оценку точности разработанной математической модели на основе экспериментальных данных;
- провести имитационные исследования особенностей режимов функционирования установки очистки газовой смеси от диоксида углерода, которые позволят получить дополнительные данные об особенностях процесса для дальнейшего их использования при разработке системы управления;
- разработать структуру автоматизированной системы управления процессом очистки газовой смеси от диоксида углерода;
- разработать АРМ оператора автоматизированной системы управления процессом очистки газовой смеси от диоксида углерода.

Схема производства эмульсии ЭП-8



Процесс адсорбции диоксида углерода как объект управления

Входные переменные:

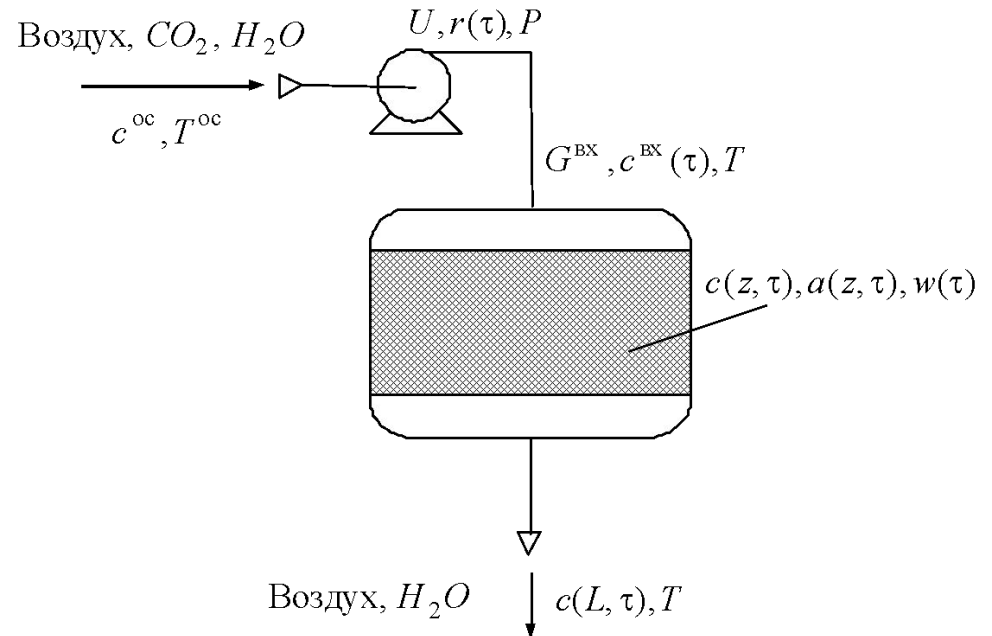
- время цикла;
- частота вращения воздуходувки;
- сопротивление в цепи питания воздуходувки;
- напряжение питания воздуходувки.
- теплофизические свойства исходной газовой смеси:
- температура воздушной смеси;
- состав исходной газовой смеси.

Выходные переменные:

- мощность, потребляемая воздуходувкой;
- температура газовой смеси на стадии адсорбции;
- концентрация диоксида углерода в газовой и твердой фазе адсорбента;
- линейная скорость потока газовой смеси в адсорбере.

Регулирующие воздействия:

- частота вращения воздуходувки;
- время цикла.



Математическая модель процесса

Уравнение материального баланса по диоксиду углерода:

$$\frac{\partial c}{\partial \tau} + w \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{\rho}{\varepsilon} \frac{\partial a}{\partial \tau} = 0, \quad (1)$$

$$c(z, 0) = c_0(z), \quad c(0, \tau) = c^{\text{вх}}(\tau).$$

Уравнение кинетики поглощения диоксида углерода:

$$\frac{\partial a}{\partial \tau} = \beta(a^* - a). \quad (2)$$

Уравнения изотермы адсорбции углекислого газа и воды:

$$a^* = \frac{a_{\infty} b c}{1 + b c}. \quad (3)$$

$$b = b_0 e^{\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}, \quad (4)$$

Линейная скорость газового потока в межгранулярном пространстве:

$$w = \frac{G^{\text{вх}}(\tau)}{S \cdot \varepsilon}. \quad (5)$$

Ток в цепи вентилятора: $I(\tau) = \frac{U}{r(\tau)}. \quad (6)$

Потребляемая мощность вентилятором: $P(\tau) = \frac{U^2}{r(\tau)}. \quad (7)$

Объемный расход: $G^{\text{вх}}(\tau) = 0,033 \frac{P(\tau) \eta}{c^{\text{ос}} T^{\text{ос}}}, \quad (8)$

Выходная температура газовой смеси:

$$T^{\text{в}}(\tau) = T^{\text{ос}}(\tau) + \frac{P(\tau)(1 - \eta)}{c^{\text{ос}} G_{\text{в}} \gamma}. \quad (9)$$

Блок-схема алгоритма расчета уравнений математической модели



Параметрическая идентификация ММ

Необходимо определить неизвестный коэффициент уравнений математического описания процесса адсорбции диоксида углерода - кинетического коэффициента β , который является решением задачи вида:

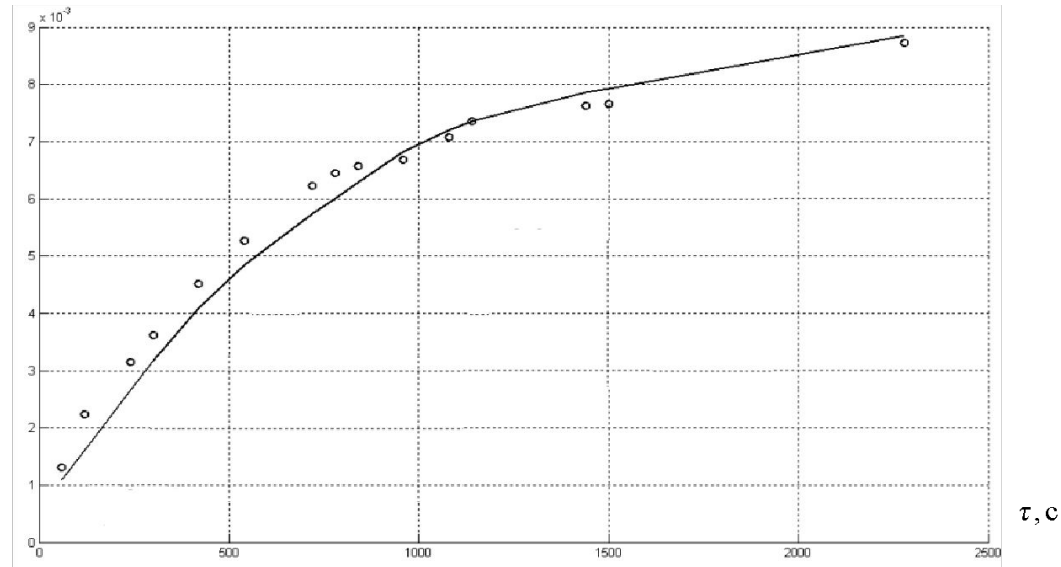
$$\beta^* = \arg \min_{\beta \in V} F(\beta).$$

Целевая функция имеет вид:
$$F(\beta) = \sum_{i=1}^P \left(c_i^p(L, \tau_i, \beta) - c_i^3(L, \tau_i) \right)^2.$$

Функция F представляет собой сумму квадратов отклонений экспериментальной и рассчитанной по математической модели выходной кривой $c(L, \tau)$ в P точках эксперимента.

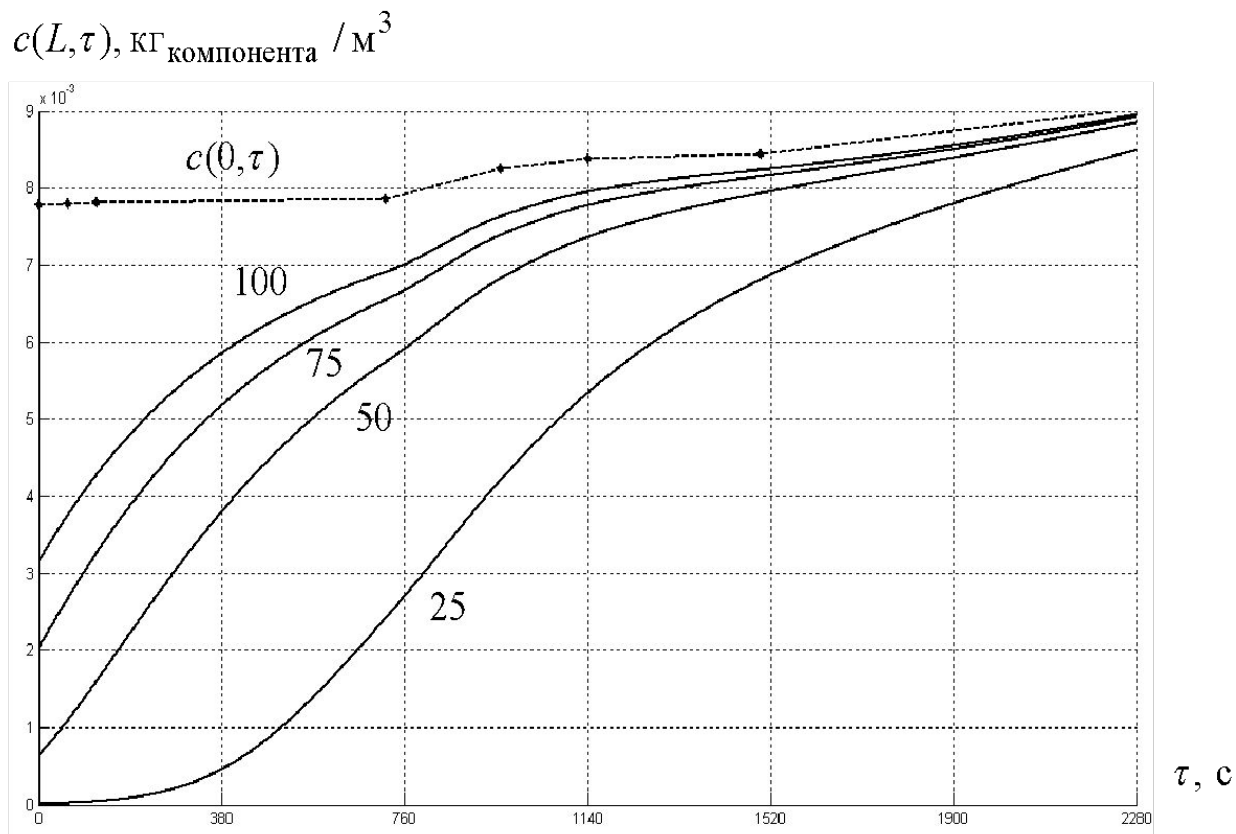
Значение идентифицированного параметра $\beta = 0,003 \text{ c}^{-1}$.

$c(L, \tau)$, кг_{компонента} / М³_{межгран.пр ост-ва}



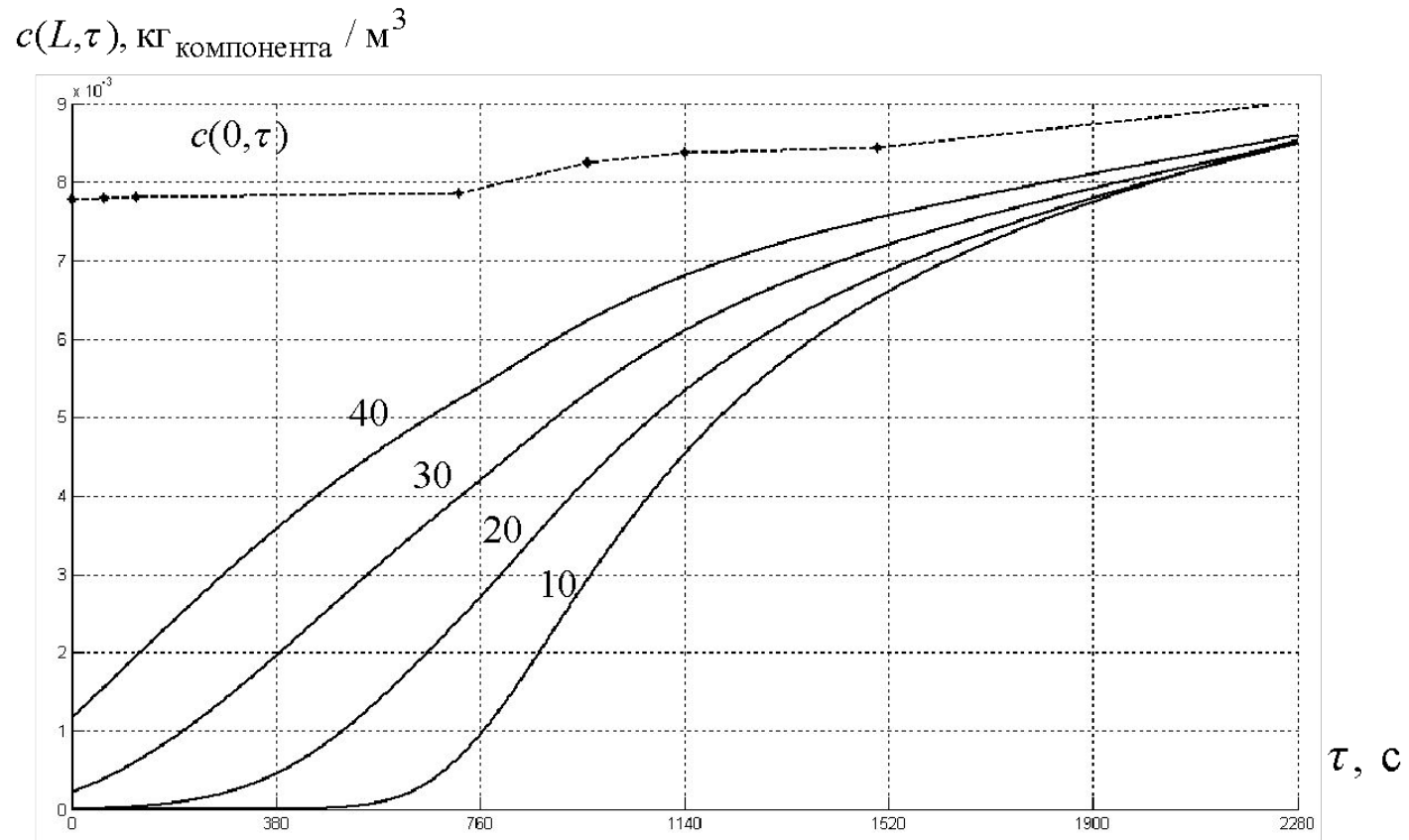
Имитационные исследования процесса

Зависимости выходной концентрации диоксида углерода при различных значениях расхода подаваемой газовой смеси



Имитационные исследования процесса

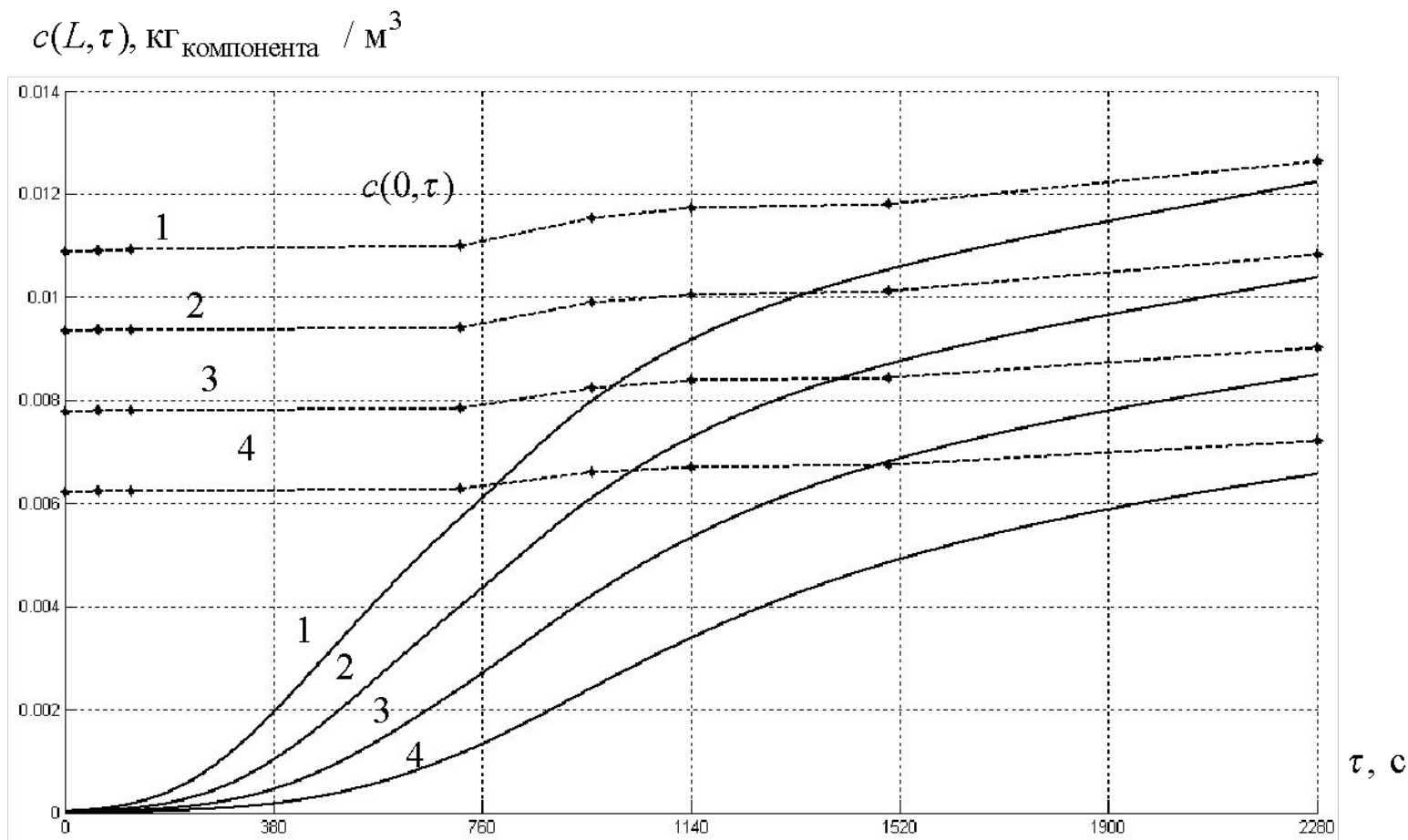
Зависимости выходной концентрации диоксида углерода при различных значениях температуры подаваемой газовой смеси



Имитационные исследования процесса

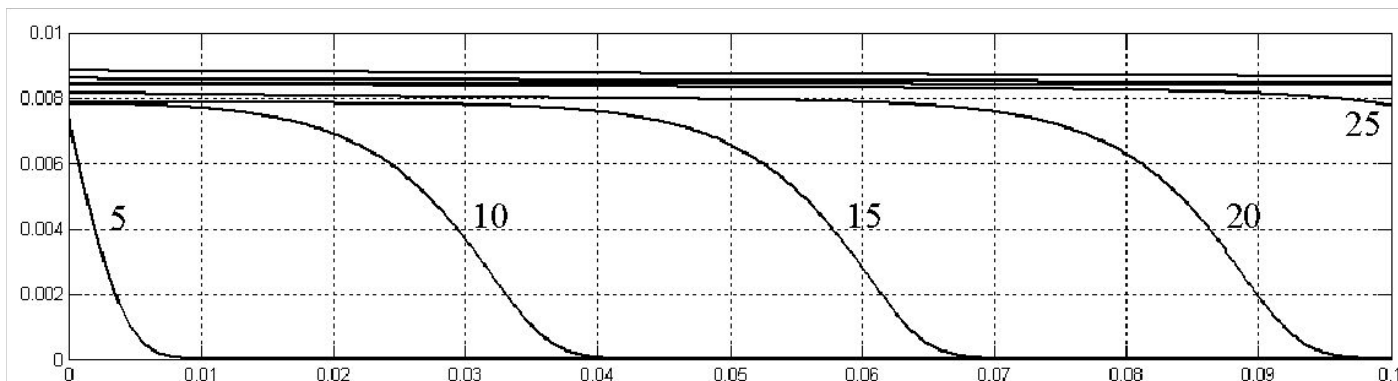
10

Зависимости выходной концентрации диоксида углерода при различных значениях входных концентрациях диоксида углерода на входе

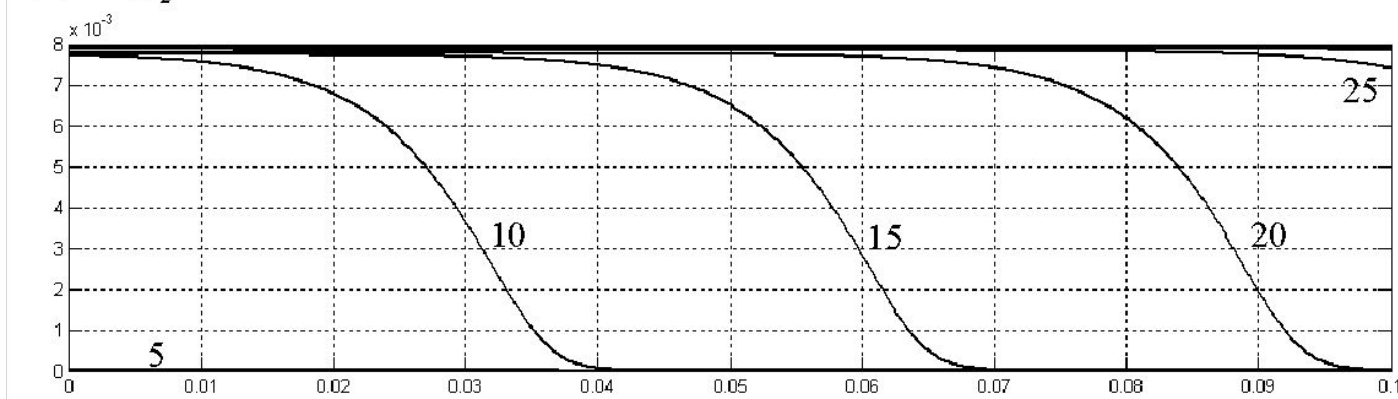


Зависимости концентрации диоксида углерода в межгранулярном пространстве c и в адсорбенте a при различных значениях времени

$c(z), \text{кг}_{\text{CO}_2} / \text{м}^3$



$a(z), \text{кг}_{\text{CO}_2} / \text{м}^3$

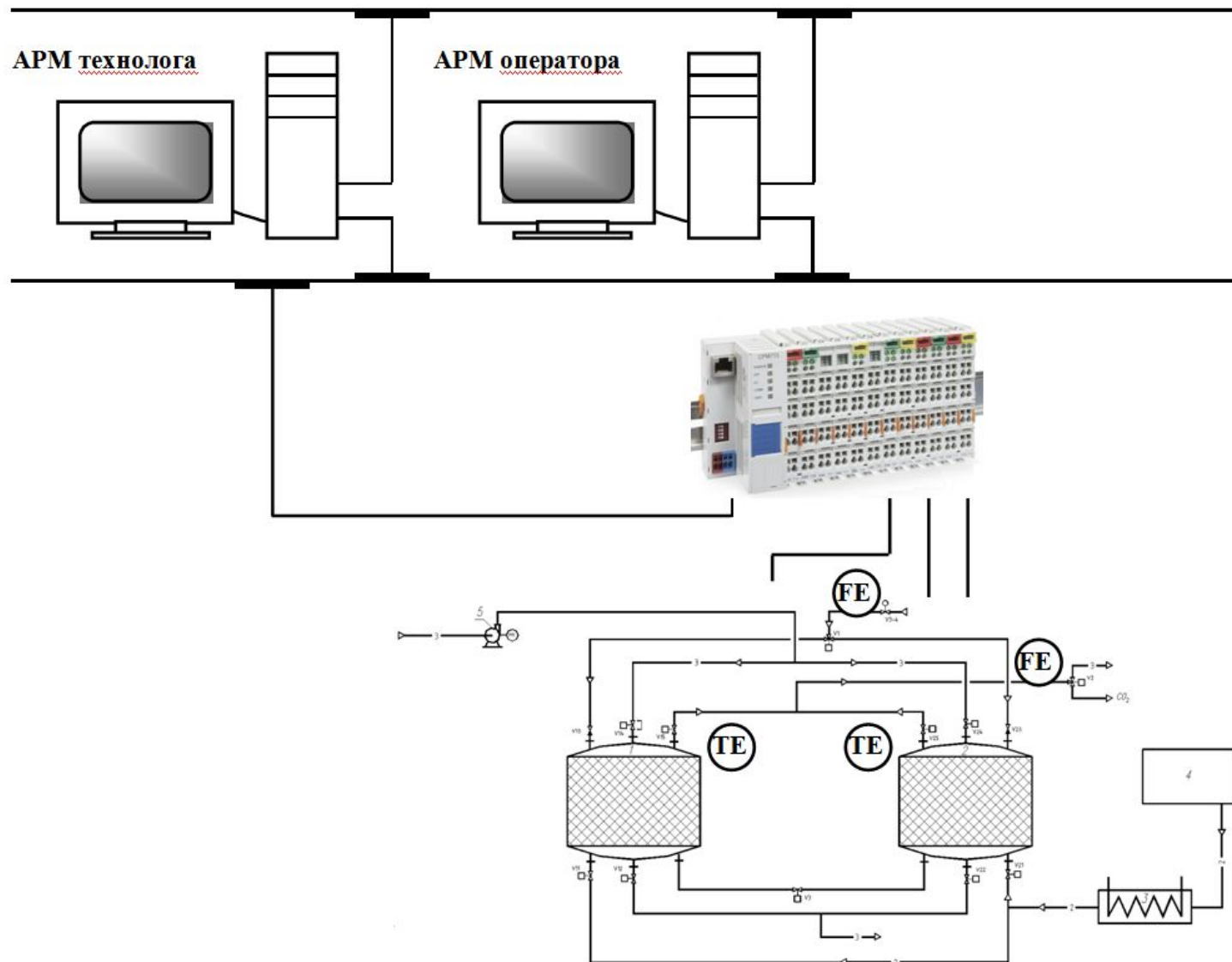


$z, \text{м}$

Структурная схема АСУ ТП процесса производства эмульсии ЭП-8

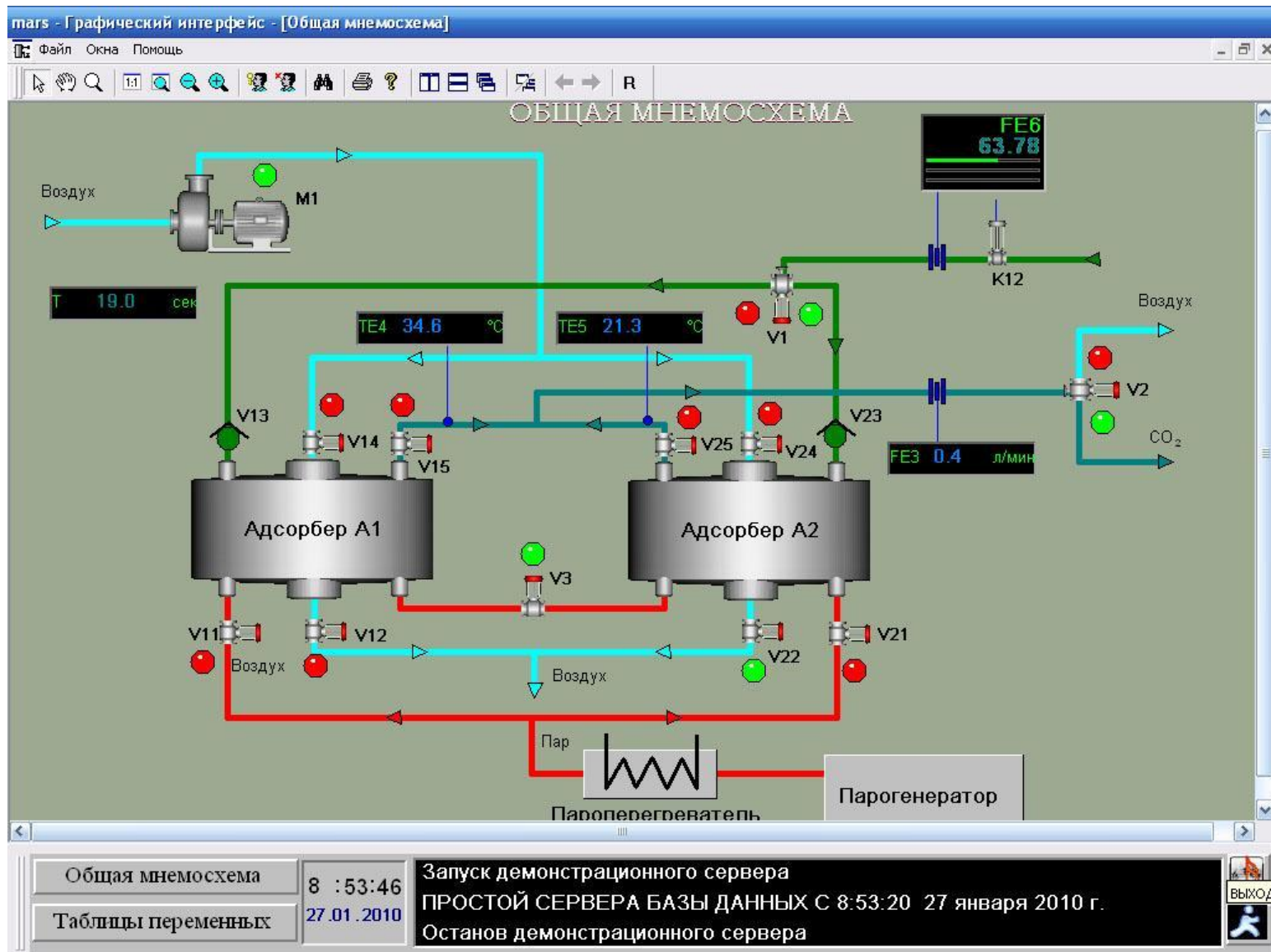
12

В АСУП



Мнемосхема технологического процесса

13



1. В результате проведенного анализа современного состояния технологий и исследований в области моделирования и управления процессом очистки газовой смеси от диоксида углерода, были поставлены цель и задачи исследования.
2. Разработана математическая модель процесса очистки газовой смеси от диоксида углерода, в которой исходная газовая смесь представлена в двух компонентах: воздух, диоксид углерода.
3. Проведена параметрическая идентификация разработанной математической модели на основе экспериментальных данных.
4. Проведены имитационные исследования процесса очистки газовой смеси от диоксида углерода.
5. Произведен выбор структуры АСУТП очистки газовой смеси от диоксида углерода и разработано автоматизированное рабочее место оператора в SCADA КРУГ-2000.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!