

**тема: Комп'ютерно-інтегрована система контролю та управління
реактором синтезу карбаміду у виробництві карбаміду**

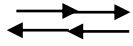
студент гр. АТП-16зм Михайлов Олексій Олегович

ВСТУП

Сучасні хімічні виробництва характеризуються великою складністю технологічних процесів і високим рівнем автоматизації, в основі якого є комп'ютерно-інтегровані технології з досконаліми й високонадійними мікропроцесорними системами та відповідним програмним забезпеченням. Мікропроцесорні системи в сукупності з хіміко-технологічним процесом керування складають комп'ютерно-інтегровані системи контролю та управління технологічними процесами (КІСКУ-ТП). Метою кожної КІСКУ-ТП є оптимізація роботи технологічного процесу як об'єкта контролю та управління шляхом відповідного вибору управляючих дій. У КІСКУ-ТП підготовка рішень щодо управління та дії на технологічний процес як об'єкту контролю та управління виконується практично одночасно з виконанням технологічного процесу. Такий режим роботи КІСКУ-ТП називається режимом реального часу. У КІСКУ-ТП важливе значення мають процеси збору вимірювальної інформації, її оперативне відображення та видання управляючих дій на виконавчі органи (ВО) технологічного об'єкту управління (ТОУ). У зв'язку з широким впровадженням у хімічні виробництва сучасних КІСКУ-ТП висуваються нові вимоги щодо підготовки висококваліфікованих фахівців в області автоматизації хімічних виробництв, серед яких не останнє місце займає виробництво карбаміду.

Тому розробка комп'ютерно-інтегрованої системи контролю та управління стадії синтезу карбамату у виробництві карбаміду та виконання досліджень математичних моделей співвідношення вуглекислого газу та аміаку, і двоконтурної каскадної САР температури розчину карбамату є актуальною. Результати цього дослідження можна використати для оптимізації виробництва.

Метод дослідження – теоретичний із застосуванням ЕОМ.



2.2 Аналіз систем автоматичного контролю, регулювання, сигналізації та блокування

Технологічний об'єкт керування – це сукупність технологічного обладнання і реалізованого на ньому за відповідним регламентом технологічного процесу. У загальному випадку аналіз технологічного процесу як об'єкта управління передбачає наступне:

- визначення параметрів, які впливають на технологічний процес і з допомогою яких вона проводиться, а також до визначення їх номінальних значень;
- визначення параметрів, які підлягають обов'язковому автоматичному контролю.

Контроль є невід'ємною і важливою частиною технологічного процесу. Основне призначення технічного контролю у всіх його різновидах – стежити за ходом технологічного процесу. Контроль виявляє порушення нормального ходу процесу, які проявляються у виході контрольованих параметрів за встановлені межі. На основі інформації, отриманої за результатами контролю, провадиться підстроювання, тобто регулюється хід технологічного процесу.

Проаналізуємо хімічні процеси в колоні синтезу карбаміду. При тиску понад 10 МПа і температурі вище 150 0С швидкість реакції синтезу карбамату амонію досить висока, але дегідратація (власне перетворення карбамату в карбамід) протікає дуже повільно. При підвищенні температури ступінь дегідратації зростає, але тільки до деякого максимального значення. При тиску близько 20 МПа це значення відповідає температурі 200-210 0С. Великий вплив на рівноважний вихід карбаміду дає збільшення співвідношення кількості аміаку до вуглекислого газу в реакційній суміші ($k = \text{NH}_3 : \text{CO}_2$). Так, наприклад, при стехіометричному співвідношенні $k = 2$

максимальна ступінь перетворення не перевищує 50-53%, а при $k = 4 \div 5$ вона досягає 75-80%. Вибір оптимальних значень співвідношення k являє собою складну задачу. В даний час більшість виробництв карбаміду працюють при мольних співвідношеннях $k = 3 \div 6$, що відповідає надлишку аміаку 50-200% в порівнянні зі стехіометричним. Виробництво карбаміду є досить інерційним. Так, наприклад, час перебування плава карбаміду в реакційному обсязі коливається від 35 хвилин до 1 години.

3.1.1 Аналіз результатів теоретичних досліджень математичної моделі колони синтезу на виробництві карбаміду

Перехідний процес колони синтезу описується рівнянням:

$$M_B(t) = K_M \frac{F_V t_{\Pi} M_C P}{836 RT} \left\{ \begin{array}{l} 1 - \exp\left(-2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right) \left[1 + \left(1 + 2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right) \right] + \\ + \left(1 + \frac{D_i}{2k_P} \exp\left(\frac{E}{RT}\right)\right) \exp\left[-4t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right] \end{array} \right\}$$

Дослідження перехідних процесів при зміні витрати розчину

restart;

K := .5;

F1 := 3000;

F2 := 4000;

F3 := 5000;

F4 := 6000;

F5 := 7000;

`tΠ1` := 3;

`tΠ2` := 4;

`tΠ3` := 5;

`tΠ4` := 6;

`tΠ3` := 7;

M := 2;

P := 240;

R := 1.58;

T := 1273;

k := .75;

D0 := .75;

E := 2050;

M*B(t) = Y1;

- > $Y1 := \frac{K \cdot F1 \cdot t \Pi 3 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$
- > $X1 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right) :$
- > $Y11 := Y1 \cdot X1 :$
- > $Y2 := \frac{K \cdot F2 \cdot t \Pi 3 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$
- > $X2 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right) :$
- > $Y12 := Y2 \cdot X2 :$
- > $Y3 := \frac{K \cdot F3 \cdot t \Pi 3 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$
- > $X3 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right) :$
- > $Y13 := Y3 \cdot X3 :$
- > $Y4 := \frac{K \cdot F4 \cdot t \Pi 3 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$
- > $X4 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right) :$
- > $Y14 := Y4 \cdot X4 :$
- > $Y5 := \frac{K \cdot F5 \cdot t \Pi 3 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$
- > $X5 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right) :$

with(plots);

a1 := plot(Y11, t = 0 .. 2.5, thickness = 3);

a2 := plot(Y12, t = 0 .. 2.5, thickness = 3);

a3 := plot(Y13, t = 0 .. 2.5, thickness = 3);

a4 := plot(Y14, t = 0 .. 2.5, thickness = 3);

```

a5 := plot(Y15, t = 0 .. 2.5, thickness = 3);
display(a1, a2, a3, a4, a5);

```

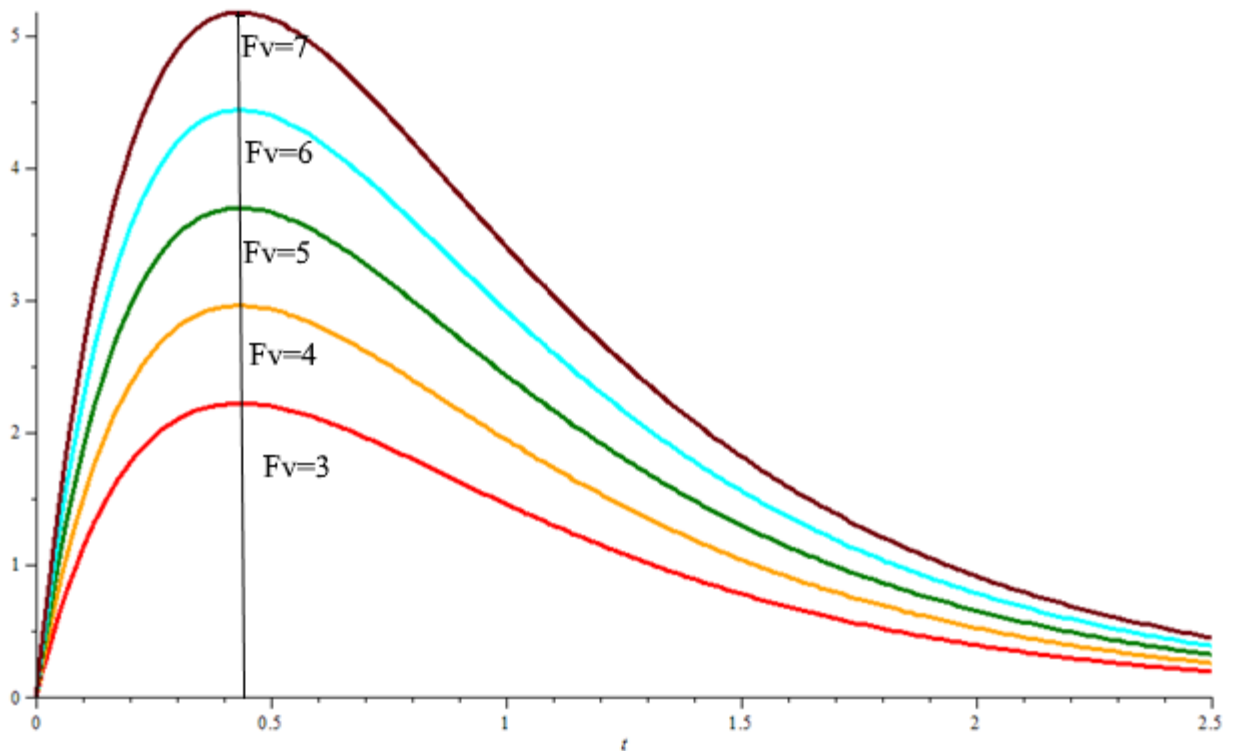


Рисунок 3.1 – Перехідні процеси реактора при зміні витрати розчину

> Дослідження *перехідних процесів при зміні часу перебування розчину в колоні* :

$$M_B(t) = K_M \frac{F_V t_{\Pi} M_{CP}}{836 RT} \left\{ \begin{aligned} & \left[1 - \exp\left(-2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right) \right] \left[1 + \left(1 + 2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \right) \right] + \\ & \left[1 + \frac{D_i}{2k_P} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \right] \exp\left[-4t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right] \end{aligned} \right\}$$

```

>
> : restart :
>
> K := 0.5 :

```

```

> F3 := 5000 :
>
> tII1 := 3 :
> tII2 := 4 :
> tII3 := 5 :
> tII4 := 6 :
> tII5 := 7 :
> M := 2 :
> P := 240 :
> R := 1.58 :
> T := 1273 :
> k := 0.75 :
> D0 := 0.75 :
> E := 2050 :
> MB(t) = Y1 :
> Y1 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tII1 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left( -\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0} \right) \right) :$ 
> X1 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left( \frac{E}{R \cdot T} \right) \right) \cdot \exp\left( -\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left( -\frac{E}{R \cdot T} \right) \right) :$ 
> Y11 := Y1 \cdot X1 :
> Y2 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tII2 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left( -\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0} \right) \right) :$ 
> X2 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left( \frac{E}{R \cdot T} \right) \right) \cdot \exp\left( -\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left( -\frac{E}{R \cdot T} \right) \right) :$ 
> Y12 := Y2 \cdot X2 :
> Y3 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tII3 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left( -\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0} \right) \right) :$ 
> X3 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left( \frac{E}{R \cdot T} \right) \right) \cdot \exp\left( -\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left( -\frac{E}{R \cdot T} \right) \right) :$ 
> Y13 := Y3 \cdot X3 :
> Y4 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tII4 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left( -\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0} \right) \right) :$ 
> X4 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left( \frac{E}{R \cdot T} \right) \right) \cdot \exp\left( -\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left( -\frac{E}{R \cdot T} \right) \right) :$ 
> Y14 := Y4 \cdot X4 :
> Y5 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tII5 \cdot M \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left( -\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0} \right) \right) :$ 
> X5 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left( \frac{E}{R \cdot T} \right) \right) \cdot \exp\left( -\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left( -\frac{E}{R \cdot T} \right) \right) :$ 
> Y15 := Y5 \cdot X5 :
> with(plots) :
> a1 := plot(Y11, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> a2 := plot(Y12, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> a3 := plot(Y13, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> a4 := plot(Y14, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :

```

```

> a5 := plot(Y15, t = 0..2.0, thickness = 3) :
> display(a1, a2, a3, a4, a5);

```

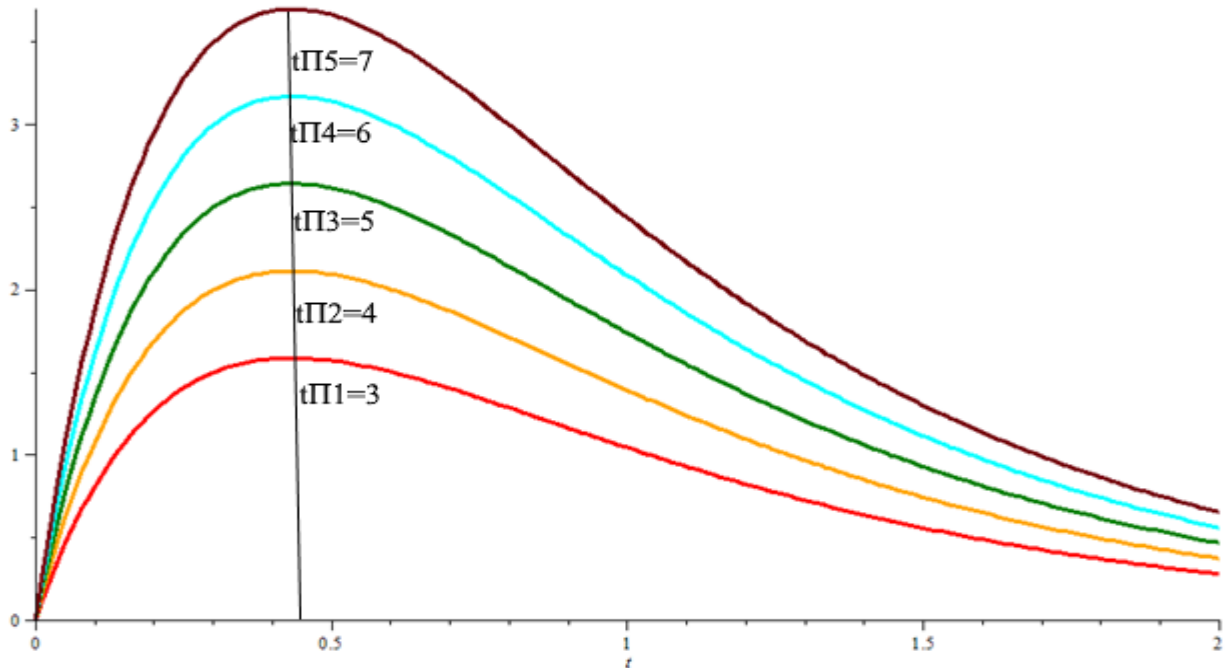


Рисунок 3.2 - Результати моделювання перехідних процесів при зміні часу перебування розчину в колоні синтезу

Дослідження перехідних процесів при зміні маси M_C :

$$M_B(t) = K_M \frac{F_V t_{\Pi} M_{CP}}{836 RT} \left\{ \begin{aligned} & \left[1 - \exp\left(-2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right) \right] \left[1 + \left(1 + 2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \right) \right] + \\ & \left[1 + \frac{D_i}{2k_P} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \right] \exp\left[-4t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right] \end{aligned} \right\}$$

```

> : restart :
> K := 0.5 :
> F3 := 5000 :
> tП3 := 5 :
> M1 := 1.5 :
> M2 := 1.75 :
> M3 := 2 :
> M4 := 2.25 :
> M5 := 2.5 :
>
> P := 240 :
> R := 1.58 :
> T := 1273 :
> k := 0.75 :
> D0 := 0.75 :
> E := 2050 :

```



```

> MB(t) = Y1 :
> Y1 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tI13 \cdot M1 \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$ 
> X1 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right)\right) :$ 
> Y11 := Y1 \cdot X1 :
> Y2 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tI13 \cdot M2 \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$ 
> X2 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right)\right) :$ 
> Y12 := Y2 \cdot X2 :
> Y3 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tI13 \cdot M3 \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$ 
> X3 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right)\right) :$ 
> Y13 := Y3 \cdot X3 :
> Y4 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tI13 \cdot M4 \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$ 
> X4 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right)\right) :$ 
> Y14 := Y4 \cdot X4 :
> Y5 :=  $\frac{K \cdot F3 \cdot tI13 \cdot M5 \cdot P}{836 \cdot R \cdot T} \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$ 
> X5 :=  $\left( 1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T}\right)\right) :$ 
> Y15 := Y5 \cdot X5 :
> with(plots) :
> a1 := plot(Y11, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> a2 := plot(Y12, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> a3 := plot(Y13, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> a4 := plot(Y14, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> a5 := plot(Y15, t = 0 .. 2.0, thickness = 3) :
> display(a1, a2, a3, a4, a5);

```

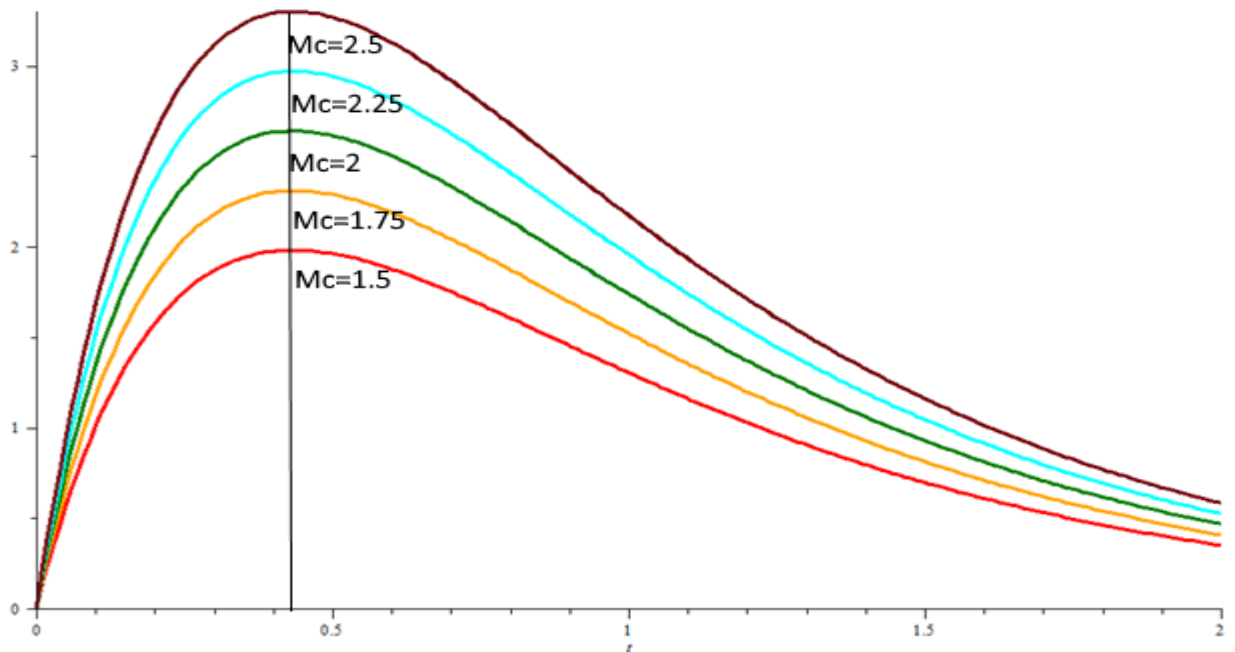


Рисунок 3.3 - Результати моделювання перехідних процесів при зміні маси M_c домішок розчину в колоні синтезу

Дослідження перехідних процесів при зміні температури реакції :

$$M_B(t) = K_M \frac{F_V t_{\Pi} M_C P}{836 RT} \left\{ \begin{aligned} & \left[1 - \exp\left(-2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right) \right] \left[1 + \left(1 + 2t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \right) \right] + \\ & \left[1 + \frac{D_i}{2k_P} \exp\left(\frac{E}{RT}\right) \right] \exp\left[-4t \frac{k_P}{D_i} \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)\right] \end{aligned} \right\}$$

- > : restart :
- > K := 0.5 :
- > F3 := 5000 :
- > tП3 := 5 :
- > M3 := 2 :
- > P3 := 240 :
- > R := 1.58 :
- > T1 := 1073 :
- > T2 := 1173 :
- > T3 := 1273 :
- > T4 := 1373 :
- > T5 := 1473 :
- > k := 0.75 :
- > D0 := 0.75 :
- > E := 2050 :

> $MB(t) = YI :$

> $Y1 := \frac{K \cdot F3 \cdot tII3 \cdot M3 \cdot P3}{836 \cdot R \cdot T1} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$

> $X1 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T1}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T1}\right)\right) :$

> $Y11 := Y1 \cdot X1 :$

> $Y2 := \frac{K \cdot F3 \cdot tII3 \cdot M3 \cdot P3}{836 \cdot R \cdot T2} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$

> $X2 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T2}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T2}\right)\right) :$

> $Y12 := Y2 \cdot X2 :$

> $Y3 := \frac{K \cdot F3 \cdot tII3 \cdot M3 \cdot P3}{836 \cdot R \cdot T3} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$

> $X3 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T3}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T3}\right)\right) :$

> $Y13 := Y3 \cdot X3 :$

> $Y4 := \frac{K \cdot F3 \cdot tII3 \cdot M3 \cdot P3}{836 \cdot R \cdot T4} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$

> $X4 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T4}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T4}\right)\right) :$

> $Y14 := Y4 \cdot X4 :$

> $Y5 := \frac{K \cdot F3 \cdot tII3 \cdot M3 \cdot P3}{836 \cdot R \cdot T5} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{2 \cdot t \cdot k}{D0}\right) \right) :$

> $X5 := \left(1 + \frac{D0}{2 \cdot k} \cdot \exp\left(\frac{E}{R \cdot T5}\right) \right) \cdot \exp\left(-\frac{4 \cdot t \cdot k}{D0} \cdot \exp\left(-\frac{E}{R \cdot T5}\right)\right) :$

> $Y15 := Y5 \cdot X5 :$

>

> *with(plots) :*

> $a1 := \text{plot}(Y11, t = 0 .. 2.0, \text{thickness} = 3) :$

> $a2 := \text{plot}(Y12, t = 0 .. 2.0, \text{thickness} = 3) :$

> $a3 := \text{plot}(Y13, t = 0 .. 2.0, \text{thickness} = 3) :$

> $a4 := \text{plot}(Y14, t = 0 .. 2.0, \text{thickness} = 3) :$

> $a5 := \text{plot}(Y15, t = 0 .. 2.0, \text{thickness} = 3) :$

> $\text{display}(a1, a2, a3, a4, a5);$

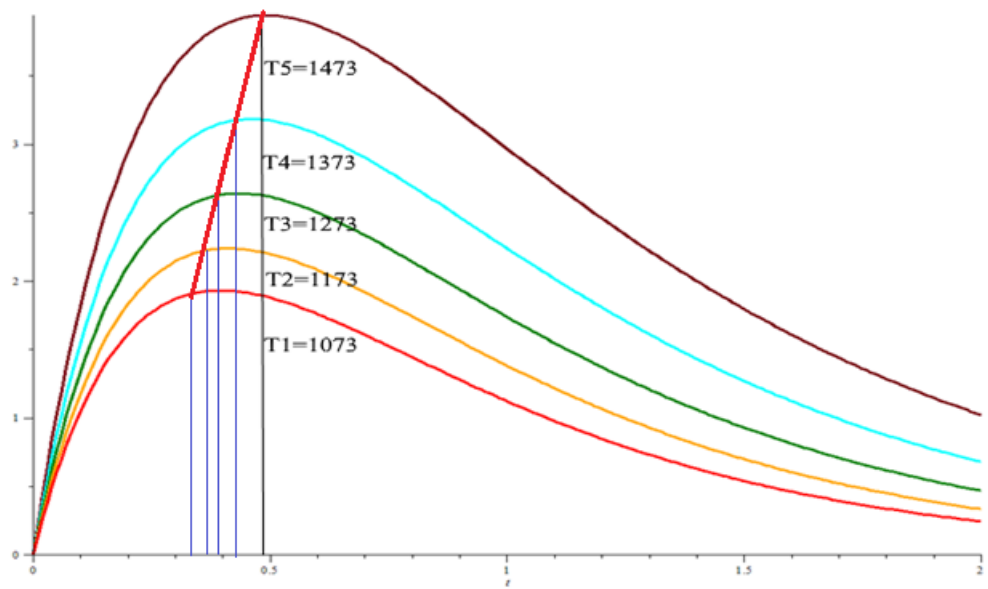


Рисунок 3.4 - Результати моделювання перехідних процесів при зміні температури реакції