

слово аніліну. В процесі тверднення бетону проходить кальматація (заповнення) пор фурилоаніліною смолою. Полімербетон водостійкий при надлишкових тисках до 5,0 МПа, бензостійкий – до 1,5 МПа, міцність його на 40% вища, ніж у звичайного бетону. Він може використовуватися для будівництва сховищ світлих нафтопродуктів, для цементації нафтових і газових свердловин і т. п. [2].

Література:

1. Конструкционные материалы. Справочник. Арзамасов Б.Н., Брострем В.А., Буше Н.А. и др. М.: Машиностроение, 1990. – 688 с.
2. Катаев В.М., Попов В.А., Сажин Б.И. (ред.) Справочник по пластическим материалам. – Том 2, 1975. – 568 с.

**Самарай В.П., Самарай Р.В., Богусhevський В.С.**  
**(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)**  
**ПОРІВНЯННЯ І ВИБІР ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ**  
**“ТЕМПЕРАТУРА ПРЕС-ФОРМИ” ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ**

За кривою розгону виконано розрахунок різних можливих передавальних функцій (ПФ) “Температура прес-форми” лиття під тиском (ЛПТ) для машини ЛПТ 711А08 і порівняння адекватності форми їх кривих та достовірності апроксимації за допомогою програми МатЛаб (рис. 1). Для ідентифікації об’єкту керування використовувалися підсистема ідентифікації та моделювання кривих розгону “System Identification Tool” та підсистема аналізу та моделювання систем автоматичного керування “LTI-Viewer” пакету “CONTROL SYSTEM TOOLBOX”.

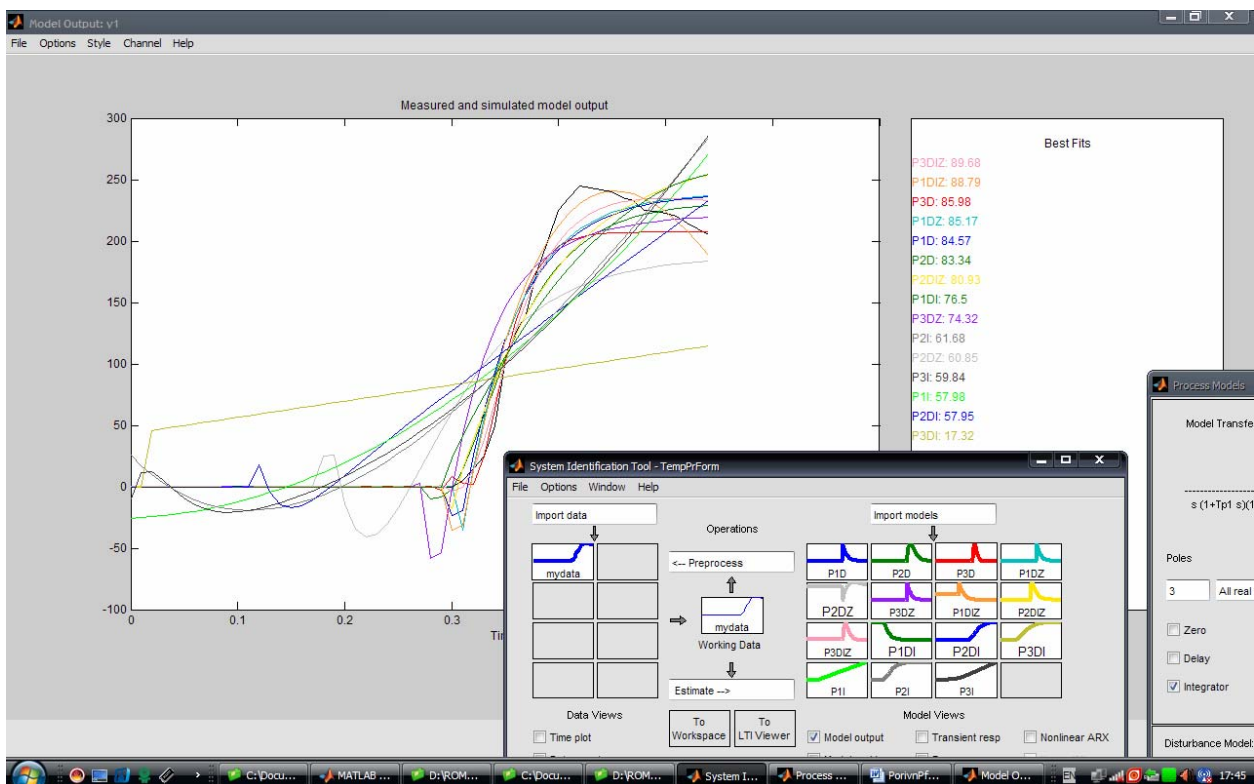


Рис. 1. Порівняння графічних зображень та сортування передавальних функцій за їх адекватністю повторення залежності між вхідним та вихідним сигналами для об’єкта керування – контуру машини ЛПТ “Температура ПФ”

Було досліджено і проведено порівняння адекватності математичних моделей п'яти груп для 15 передавальних функцій контуру машини ЛПТ "Температура ПФ":

1. Без нулів і без інтегральної ланки 1, 2, 3 порядків.
2. З нулями і без інтегральної ланки 1, 2, 3 порядків.
3. З нулями та з інтегральною ланкою 1, 2, 3 порядків.
4. Без нулів з інтегральною ланкою 1, 2, 3 порядків.
5. Без запізнення 1, 2, 3 порядків.

Таблиця 1 – Порівняння адекватності передавальних функцій "Температура ПФ"

	Форма представлення об'єкта керування	Порядок передатної функції	Коефіцієнти ПФ	Достовірність,%. Адекватність R <sup>2</sup>	Позначення
1	ОК з нулями, з полюсами і інтегральною ланкою	3-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / s(1+T_{p1} \cdot s)(1+T_{p2} \cdot s)(1+T_{p3} \cdot s)$	$K_p = -107.23$ $T_{p1} = 0.005750$ $T_{p2} = 0.023056$ $T_{p3} = 0.036066$ $T_d = 0.29666$ $T_z = -1.8685$	89,68. Так	P3DIZ
2	ОК з нулями, з полюсами і інтегральною ланкою	1-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / s(1+T_{p1} \cdot s)$	$K_p = -2101.7$ $T_{p1} = 0.12159$ $T_d = 0.3$ $T_z = -0.25075$	88,79. Так	P1DIZ
3	ОК з полюсами, без нулів і без інтегральної ланки	3-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / (1+T_{p1} \cdot s)(1+T_{p2} \cdot s)(1+T_{p3} \cdot s)$	$K_p = 207.38$ $T_{p1} = 0.013882$ $T_{p2} = 0.013882$ $T_{p3} = 0.015669$ $T_d = 0.3$	85,98. Так	P3D
4	ОК з полюсами, з нулями і без інтегральної ланки	1-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / (1+T_{p1} \cdot s)$	$K_p = 239.22$ $T_{p1} = 0.049424$ $T_d = 0.29319$ $T_z = -0.015638$	85,17. Так	P1DZ
5	ОК з полюсами, без нулів і без інтегральної ланки	1-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / (1+T_{p1} \cdot s)$	$K_p = 239.29$ $T_{p1} = 0.052387$ $T_d = 0.3$	84,57. Так	P1D
6	ОК з полюсами, без нулів і без інтегральної ланки	2-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / (1+T_{p1} \cdot s)(1+T_{p2} \cdot s)$	$K_p = 231.76$ $T_{p1} = 0.03195$ $T_{p2} = 0.043709$ $T_d = 0.28247$	83,34. Так	P2D
7	ОК з полюсами, з нулями і з інтегральною ланкою	2-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / s(1+T_{p1} \cdot s)(1+T_{p2} \cdot s)$	$K_p = 19.635$ $T_{p1} = 0.082366$ $T_{p2} = 0.014435$ $T_d = 0.29971$ $T_z = 10.647$	80,93. Так	P2DIZ
8	ОК без нулів з полюсами та інтегральною ланкою	1-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / s(1+T_{p1} \cdot s)$	$K_p = -4746.3$ $T_{p1} = 0.83469$ $T_d = 0.3$	76,5. Так	P1DI
9	ОК з нулями, полюсами без інтегральної ланки	3-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / (1+T_{p1} \cdot s)(1+T_{p2} \cdot s)(1+T_{p3} \cdot s)$	$K_p = 552.59$ $T_{p1} = 0.001$ $T_{p2} = 8.1823$ $T_{p3} = 0.043429$ $T_d = 0.27934$ $T_z = 3.5478$	74,32. Ні	P3DZ
10	ОК без запізнення, без нулів з інтегральною ланкою	2-порядку $G(s) = K_p / s(1+T_{p1} \cdot s)(1+T_{p2} \cdot s)$	$K_p = 1200.5$ $T_{p1} = 0.17384$ $T_{p2} = 0.17419$	61,68. Ні	P2I
11	ОК з нулями, полюсами без інтегральної ланки	2-порядку $G(s) = K_p \cdot \exp(-T_d \cdot s) / (1+T_{p1} \cdot s)(1+T_{p2} \cdot s)$	$K_p = 187.22$ $T_{p1} = 0.058828$ $T_{p2} = 0.044885$ $T_d = 0.17923$ $T_z = -0.080317$	60,85. Ні	P2DZ

12	ОК без нулів, без запізнення з інтегральною ланкою	3-порядку Кр $G(s) = \frac{K_p}{s(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)}$	Кр = 8.5867e+006 Тр1 = 0.019534 Тр2 = 3826.1 Тр3 = 0.019559	59,84. Ні	P3I
13	ОК без нулів, без запізнення з інтегральною ланкою	1-порядку Кр $G(s) = \frac{K_p}{s(1+T_{p1}s)}$	Кр = 1.3061e+011 Тр1 = 6.8797e+007	57,98. Ні	P1I
14	ОК без нулів з полюсами та інтегральною ланкою	2-порядку Кр $G(s) = \frac{K_p \exp(-T_d s)}{s(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)}$	Кр = 640.69 Тр1 = 0.028516 Тр2 = 0.028852 Тд = 0.12144	57,95. Ні	P2DI
15	ОК без нулів з полюсами та інтегральною ланкою	3-порядку Кр $G(s) = \frac{K_p \exp(-T_d s)}{s(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)(1+T_{p3}s)}$	Кр = 132.63 Тр1 = 0.001 Тр2 = 0.001 Тр3 = 0.001 Тд = 0	17,32. Ні	P3DI

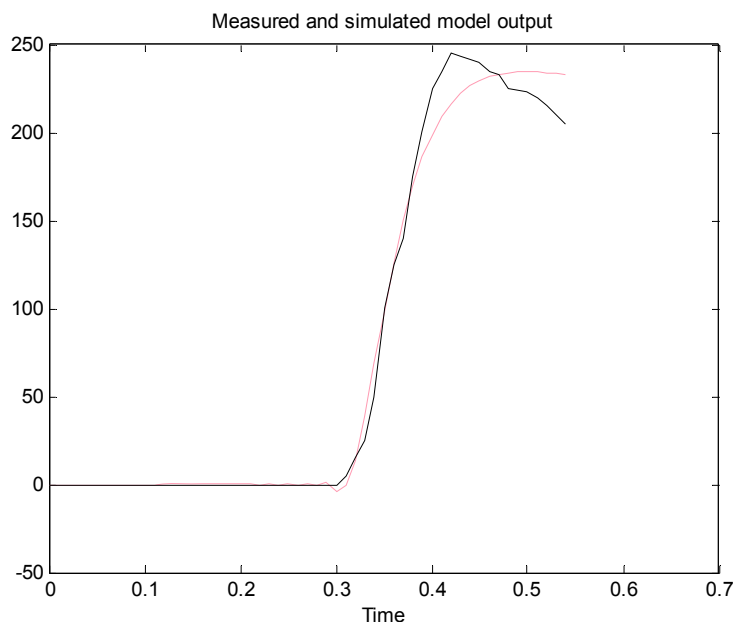


Рис. 2. Порівняння графічних зображень передавальних функцій об'єкта керування контуру "Температура ПФ" з кривою розгону для P3DIZ – ОК з нулями, з запізненням і інтегральною ланкою

Результат аналізу показує наступне:

1. Об'єкт керування обов'язково має описуватися ланкою запізнення.
2. Найкращим чином контур "Температура ПФ" відображається передавальною функцією 1-го порядку з нулями та інтегральною ланкою ( $R^2 = 0.90$ ). Але така ПФ складна навіть для моделювання у програмі МатЛаб, тим більше для реалізації мікроконтролерної програми керування об'єктом.
3. Можливо використання передавальних функцій всіх трьох порядків з нулями та з інтегральною ланкою 1, 2, 3 порядків 3-ої групи.
4. Доцільно використання також найпростіших передавальних функцій без нулів і без інтегральної ланки 1 і 3 порядків 1-ої групи (позиції 5, 6, 3 у таблиці) ( $R^2 > 0.75$ ).
5. Перевірка цих ПФ у системі "Lti Viewer" дала позитивні результати.

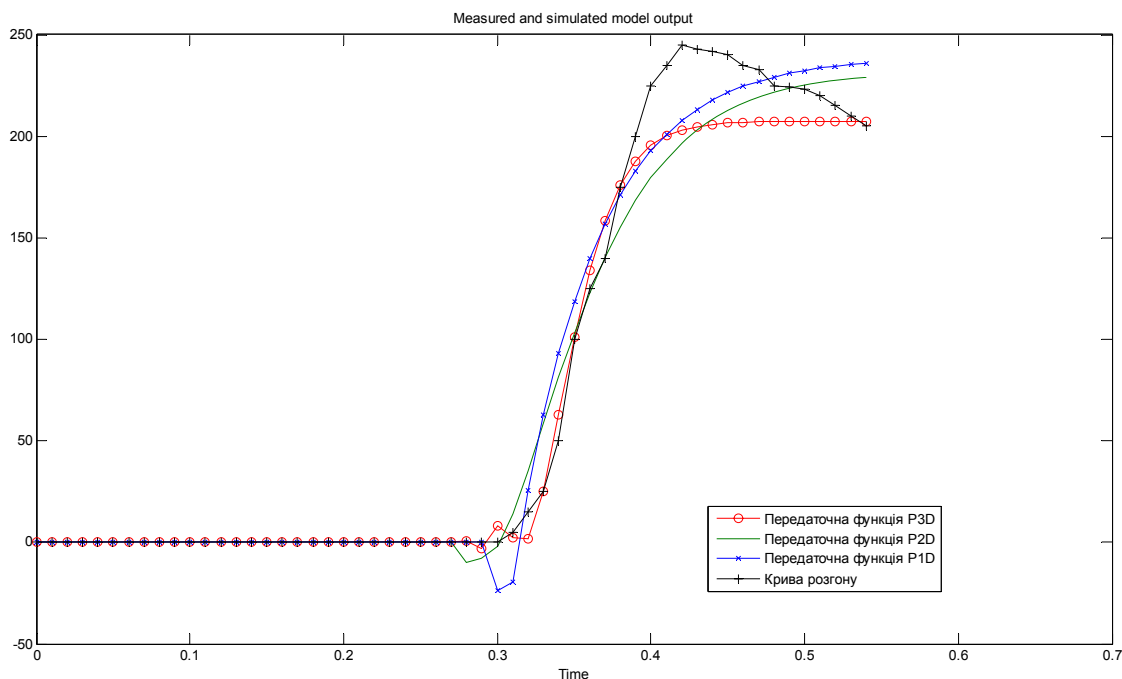


Рис. 3. Порівняння графічних зображень передавальних функцій об'єкта керування контуру "Температура ПФ" з кривою розгону для моделей передавальних функцій типу P1D, P2D, P3D (ОК без нулів, з запізненням і без інтегральної ланки)

**Самарай В.П., Самарай Р.В., Богушевський В.С.**  
*(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)*

## **ПОРІВНЯННЯ І ВИБІР ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ "ТИСК ПРЕСУВАННЯ" ЛИТТЯ ПІД ТИСКОМ**

За кривою розгону виконано розрахунок різних можливих передавальних функцій (ПФ) "Тиск пресування робочої рідини у штоковій порожнині циліндра" лиття під тиском (ЛПТ) для машини ЛПТ 711А08 і порівняння адекватності форми їх кривих та достовірності апроксимації за допомогою програми МатЛаб (рис. 1). Для ідентифікації об'єкта керування використовувалися підсистема ідентифікації та моделювання кривих розгону "System Identification Tool" та підсистема аналізу та моделювання систем автоматичного керування "LTI-Viewer" пакету "CONTROL SYSTEM TOOLBOX".

Оброблення кривої розгону тиску робочої рідини у штоковій порожнині циліндра пресування відбувалося згідно ГОСТ 26689-85. Окремо проаналізовано поведінку моделей ПФ 1-3-го порядків протягом всього часу циклу запресовки послідовно для всіх трьох фаз пресування.

На рис. 1 представлено порівняння адекватності форми графіків різних моделей можливих передавальних функцій "Тиск прес-плунжера". Згідно з основним принципом теорії моделювання з п'ятнадцяти можливих моделей ПФ за допомогою пакета МатЛаб обрано три можливі, найпростіші, достатньо адекватні ПФ за адекватністю форми кривої (рис. 1). Як найбільш адекватну за формою кривої визначено модель ПФ "P2D" (2-го порядку, без нулів, без інтегральної ланки, з запізненням). Дві інші моделі передавальних функцій розраховані без запізнення об'єкта керування і показали меншу точність і адекватність. Достовірність апроксимації (адекватність) теж найбільша у моделі 2-го порядку, що відповідає загальноприйнятим положенням теорії автоматичного керування для такого класу моделей ПФ.