

**Бирюк Герман Станиславович**, студент 4го курса института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Таганрог, РФ

**Научный руководитель – Синявская Екатерина Дмитриевна**, кандидат технических наук, ассистент кафедры систем автоматического управления Южного федерального университета, г. Таганрог, РФ

УДК 004.942

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРАФИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕЙСА LTI VIEWER ДЛЯ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ САУ РАБОТОЙ КАМЕРНОЙ ПЕЧИ

**Скоробогатова И.В.**

**DOI: 10.12737/15103**

**Аннотация.** Проанализирована устойчивость САУ работой камерной печи путем использования встроенного в *Simulink* графического интерфейса *LTI Viewer*. Получены графики частотных характеристик, по которым определены запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

**Ключевые слова:** модель, частотные характеристики, запас устойчивости.

Уравнения состояния динамических объектов записываются дифференциальными уравнениями в форме Коши. В теории управления для исследования автоматизированных объектов, таких, например, как камерная печь для нагрева слитков, применяется операторный метод. Библиотека блочно-ориентированного языка *Simulink* в среде *MATLAB* позволяет представить составляющие системы управления в виде передаточных функций.

Так как оценка устойчивости указывает на возможность управления объектом, поэтому с нее начинается исследование любой САУ. Из известных критериев устойчивости (алгебраических – Рауса, Гурвица, Льенара-Шипара; частотных – Найквиста, Михайлова и т.д. [1]) средствами инструмента *Simulink LTI Viewer* устойчивость САУ можно определить по диаграммам Боде, и Найквиста, графику Никольса, и по расположению корней характеристического

уравнения САУ. Для построения ЛАЧХ, ЛФЧХ или АФЧХ средствами *Simulink LTI Viewer*, устанавливаются точки входа и выхода (*Linear analysis points*), нажав правой клавишей мыши на соединительной линии между задатчиком и исполнительным механизмом (*input perturbation*), и осциллографом и блоком модели внешнего теплообмена (*output measurement*), как показано на рисунке 1 (для примера показана разработанная САУ работой камерной печи (КП)).

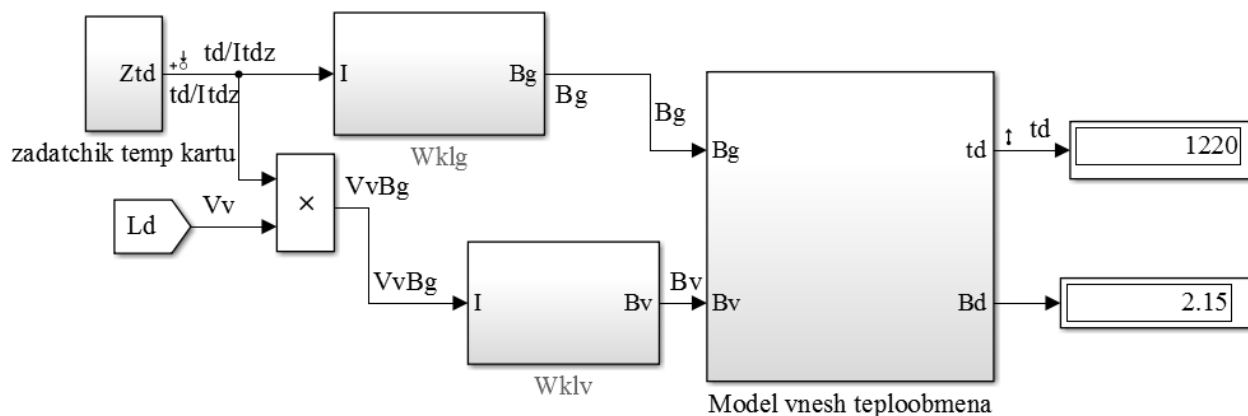


Рисунок 1 – Разомкнутая САУ работой камерной печи

Для вызова графического интерфейса *LTI Viewer* выполняется команда меню *Tools > Linear analysis* (например, *MATLAB 2008*) или *Analysis > Control Design > Linear analysis* (*MATLAB 2014*). В зависимости от частотного критерия устойчивости выбирается тип графика (*Plot type*): логарифмические амплитудная и фазовая характеристики (*Bode Diagram*), амплитудно-фазовая частотная характеристика (*Nyquist Diagram*), график Никольса (*Nichols chart*). Линеаризация модели осуществляется в окне *LTI Viewer* выполнением команды меню *Simulink > Get Linearized Model* (*MATLAB 2008*) или *Linearize* (*MATLAB 2014*).

В соответствии с частотным критерием Найквиста для того, чтобы замкнутая САУ была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы частота, при которой ЛАЧХ пересекает ось абсцисс (частота среза  $\omega_c$ ), была меньше частоты, при которой ЛФЧХ переходит за критическое значение « $-180^\circ$ » (частота сдвига фаз  $\omega_{-180^\circ}$ ), т.е.  $\omega_c < \omega_{-180^\circ}$  (при  $\omega_c > \omega_{-180^\circ}$  – система неустойчивая; при  $\omega_c = \omega_{-180^\circ}$  – система находится на границе устойчивости).

Анализ рисунка 2 показывает, что САУ работой камерной печи

устойчивая, так как частота среза  $\omega_c = 4,01$  рад/с пересекает ось абсцисс раньше частоты фазового сдвига  $\omega_{-180^0}$ , которая уходит в бесконечность  $\infty$ , не переходя за значение « $-180^0$ ».

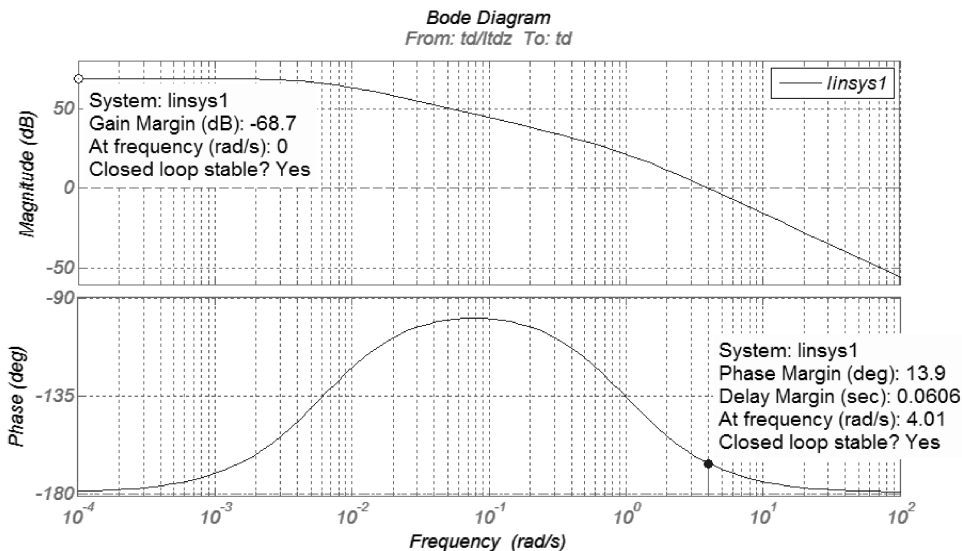


Рисунок 2 – ЛАЧХ И ЛФЧХ разомкнутой САУ работой КП

Из диаграммы Найквиста (рис. 3) и графика Никольса (рис. 4) следует, что рассматриваемая замкнутая система будет устойчива, так как АФЧХ разомкнутой САУ не охватывает точку  $(-1: j0)$ , в которой модуль  $A(\omega) = 1$  и аргумент вектора  $\varphi(\omega) = -180^0$  при изменении частоты от 0 до  $\infty$  [2].

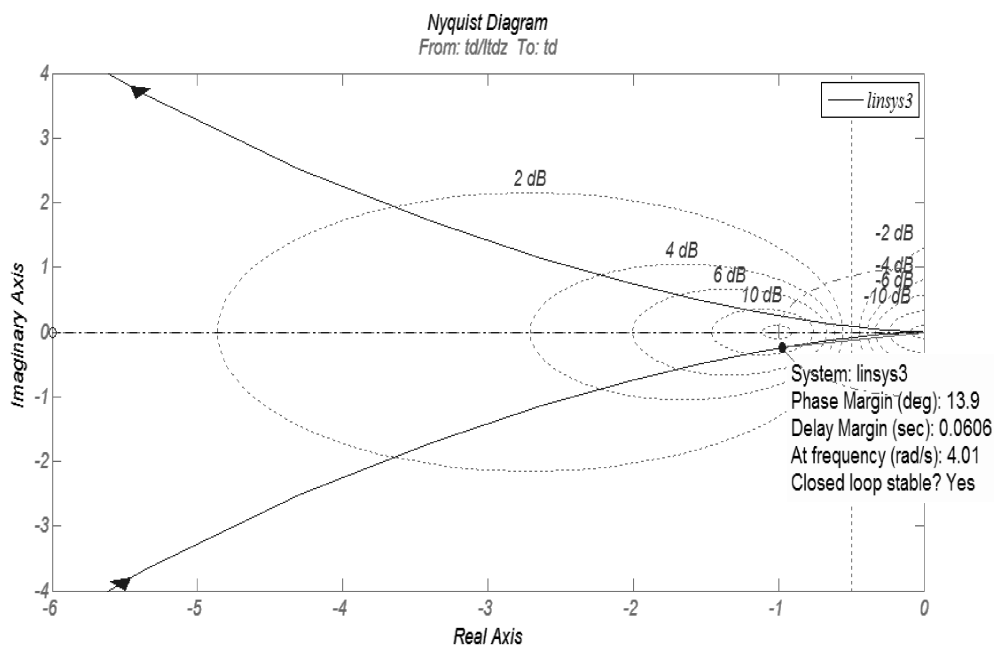


Рисунок 3 – АФЧХ разомкнутой САУ работой КП

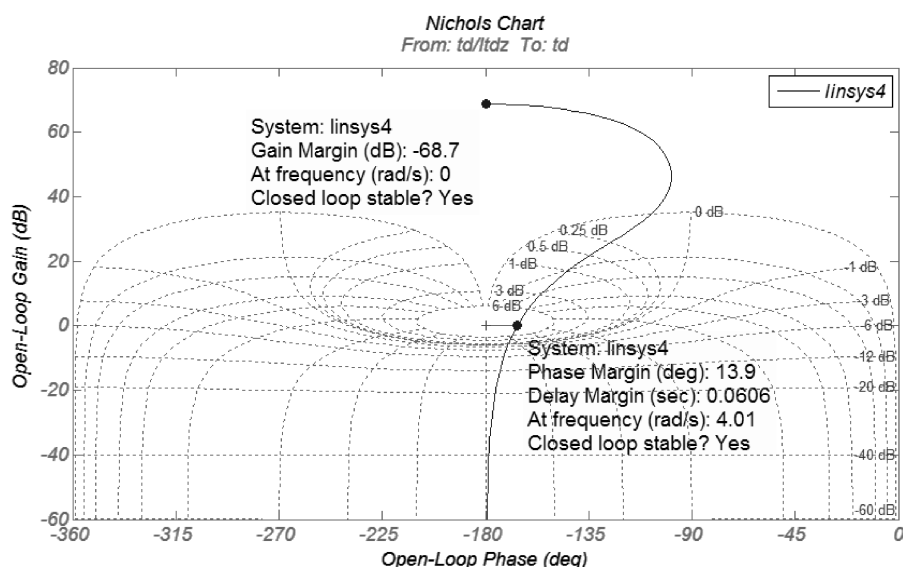


Рисунок 4 – График Никольса

Для определения численных запасов устойчивости по амплитуде и фазе при частоте в соответствующих точках ЛАЧХ и ЛФЧХ выбирается пункт контекстного меню *Characteristics > Stability Margins (Min)*:

- *gain margin at frequency* = -68,7 дБ – запас устойчивости по амплитуде;
- *phase margin at frequency* = 13,9° – запас устойчивости по фазе;
- *delay margin at frequency* = 0,0606 с – запас по запаздыванию;
- *Closed-loop stable? Yes* (Да) – замкнутая система устойчива.

Следует отметить: отрицательный запас по амплитуде указывает на то, что «потери» устойчивости уменьшаются за счет уменьшения коэффициента усиления.

### Список литературы

1. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа синтеза систем. / Е.А. Никулин – Санкт-Петербург.: Высшая школа, 1972. – 464 с.
2. Майзель М.М. Автоматика, телемеханика и системы управления производственными процессами / М.М.Майзель – М.: Высшая школа, 1972. – 464 с.

**Скоробогатова Инна Валерьевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Горная электротехника и автоматика им. Р.М. Лейбова» Донецкого национального технического университета, г. Донецк, ДНР, Украина