

DOI 10.15589/jnn20160412
УДК 681.5
К69

CORRELATION ANALYSIS OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM BASED ON THE EXPERIMENTAL STUDIES

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Borys M. Politykin

e-mail: —

ORCID: —

Yurii H. Tenditnyi

e-mail: —

ORCID: —

N. V. Tenditnaia

e-mail: —

ORCID: —

Olha N. Korneliuk

olga.korneliuk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-2444-1340

Б. М. Политыкин,

д-р техн. наук, проф.

Ю. Г. Тендитный,

преп.

Н. В. Тендитная,

преп.

О. Н. Корнелюк,

преп.

Kherson branch of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson

Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Херсон

Abstract. The results of the correlation analysis of the closed automatic regulation system (ARS) of the object at random actions on the basis of experimental data are represented. The analysis and comparative assessment of quality indicators transients are obtained theoretically and experimentally. It is shown that the discrepancy between the levels of quality of transients in the system to meet the requirements of this type of ARS, and the results of the research can be used in the development of such systems.

Key words: automatic regulation systems (ARS); correlation analysis.

Аннотация. Приведены результаты корреляционного анализа замкнутой системы автоматического регулирования (САР) объекта при случайных воздействиях на основе экспериментальных данных. Приведен анализ и сделана сравнительная оценка показателей качества переходных процессов, полученных теоретически и экспериментально. Показано, что расхождение между показателями качества переходных процессов в системе удовлетворяют требованиям, предъявляемым к САР данного типа, а результаты исследований могут быть использованы при разработке подобных систем.

Ключевые слова: системы автоматического регулирования (САР); корреляционный анализ.

Анотація. Наведено результати кореляційного аналізу замкнутої системи автоматичного регулювання (САР) об'єкта при випадкових впливах на основі експериментальних даних. Наведено аналіз і зроблена порівняльна оцінка показників якості перехідних процесів, отриманих теоретично і експериментально. Показано, що розбіжність між показниками якості перехідних процесів в системі задовольняють вимогам, що пред'являються до САР даного типу, а результати досліджень можуть бути використані при розробці подібних систем.

Ключові слова: системи автоматичного регулювання (САР); кореляційний аналіз.

REFERENCES

- [1] Politykin B. M., Kiklevich Yu. N. *Shakhtnye ispytaniya sistem dstantsionnogo i avtomaticheskogo upravleniya shchitovym agregatom* [Mining test systems for remote and automatic control unit shield]. *NII Informtyazhmash, Sb. «Ugolnoe i gornorudnoe oborudovanie»* [SRI INFORMTYAZHMASH, Coll. «Coal and mining equipment»], no. 1, 1973.
- [2] Popov Ye. P. *Teoriya lineynykh sistem avtomaticheskogo regulirovaniya i upravleniya* [The theory of linear systems of automatic regulation and control systems]. Moscow, Nauka Publ., 1989.

- [3] Rao S. R. *Lineynye statisticheskie metody i ikh primeneniya* [Linear statistical methods and their applications]. Moscow, Nauka Publ., 1968.
- [4] Noble B. *Methods Based on the Wiener-Hopf Technique for the Solution of Partial Differential Equations*. Belfast, Northern Ireland, Pergamon Press, 1958.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ — проанализировать результаты экспериментальных исследований на соответствие разработанной САР с требованиями, предъявляемыми к системам данного типа.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Объектом экспериментальных исследований в данной статье является САР, предназначенная для регулирования нагрузки привода резания щитового агрегата при наличии случайных возмущающих воздействий [1].

Как видно из диаграмм (рис. 1), полученных в процессе экспериментальных исследований, нагрузка двигателя исполнительного органа представляет собой незатухающий колебательный процесс со случайно изменяющимися частотой и амплитудой.

Статистический анализ диаграмм показал, что процесс, при определенных допущениях, можно считать стационарным в широком смысле, обладающим свойством эргодичности. Импульсная переходная функция системы определялась по результатам корреляционного анализа замкнутой САР в процессе её функционирования в условиях действия помех.

На рис. 2 приведена структурная схема САР при наличии помех.

Система содержит передаточные функции исполнительного органа W_1 , объекта регулирования W_2 , датчика нагрузки и регулятора W_{oc} , а также элемент сравнения и задающее устройство.

Возмущающим воздействием $f(t)$ для системы является случайное изменение характеристик среды, формирующих нагрузку на объект. В качестве выходного регулируемого параметра в системе принята угловая скорость вращения вала двигателя привода резания агрегата. Входным регулирующим параметром является скорость механизма подачи агрегата.

Уравнения системы могут быть представлены в следующем виде:

$$n(t) = W_1 \cdot W_2 \cdot \Delta P_k(t) + W_2 \cdot f(t); \quad (1)$$

$$\Delta P_k(t) = P_3(t) - W_{oc} \cdot P_t(t),$$

где $n(t)$ — выходной параметр объекта регулирования; $W_1 \cdot W_2$ — передаточные функции исполнительного органа и объекта регулирования; $\Delta P_k(t)$ — разность сигналов задающего устройства и сигнала обратной связи; W_{oc} — передаточная функция звена обратной связи; $P_t(t)$ — текущее значение выходного сигнала датчика нагрузки; W_2 — передаточная функция объекта по отношению к помехе; $f(t)$ — случайное возмущающее воздействие.

Для определения импульсной переходной функцией систему уравнений (1) можно записать в виде интеграла свёртки [2, 3]:

$$n(t) = \int_0^{\infty} \Delta P_k(t-v) \cdot q(v) dv + \int_0^{\infty} f(t-v) \cdot h(v) dv, \quad (2)$$

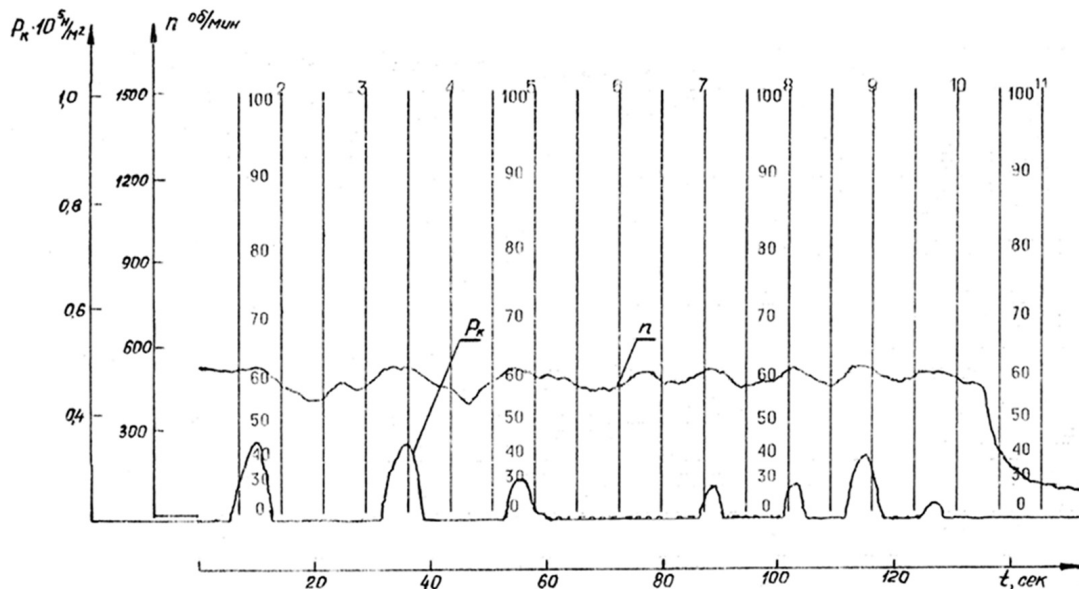


Рис. 1. Диаграмма изменения угловой скорости двигателя n и выхода регулятора P_k в автоматическом режиме работы САР

где $q(v)$ — импульсная переходная функция объекта; $h(v)$ — импульсная переходная функция объекта по отношению к возмущающему воздействию $f(t)$.

Для стационарных случайных процессов исходным уравнением для вычисления импульсной переходной функции статистическим методом является уравнение Винера–Хопфа, аналогичное уравнению (2), но связывающее корреляционные функции [4]:

$$R_{n\Delta P_k}(\tau) = \int_0^\infty R\Delta P_k(t-v) \cdot q(v) \cdot dv + \int_0^\infty Rf\Delta P_k(t-v) \cdot h(v) \cdot dv. \quad (3)$$

Как видно из уравнения (3), введение обратной связи приводит к тому, что возмущение на входе системы будет коррелировано с помехами, т.е.:

$$Rf\Delta P_k(t-v) \neq 0. \quad (4)$$

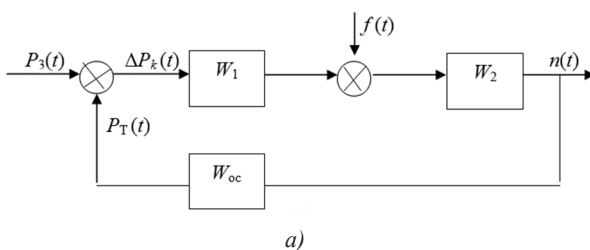
Следовательно, в данном случае уравнение Винера-Хопфа нельзя непосредственно применить для определения импульсной переходной функции системы. Однако существуют косвенные методы решения этой задачи [2, 3]. В работе использовался метод подбора входных воздействий, не коррелированных с помехами. Для этого структурная схема САР была преобразована как показано на рис. 2,б и в соответствии с этими преобразованиями уравнения (1) можно записать в следующем виде:

$$n(t) = W_{зм} P_3(t) + Wf \cdot f(t), \quad (5)$$

где $W_{зм} = \frac{W_1 W_2}{1 + W_1 W_2 W_{oc}}$ — передаточная функция замкнутой САР по отношению к регулируемому воздействию; $Wf = \frac{W_2}{1 + W_1 W_2 W_{oc}}$ — передаточная функция САР по отношению к помехе.

Помехи, возникающие внутри системы (рис. 2,а), можно отнести к её выходу (рис. 2,б), при этом $f(t)$ заменятся на выражение:

$$F(t) = W_2 \cdot f(t). \quad (6)$$



По имеющимся реализациям процессов $n(t)$, $\Delta P_k(t)$ и процесса $e(t)$, коррелированного с воздействием на входе и не коррелированного с внутренними помехами $f(t)$, импульсная переходная функция системы может быть определена из уравнения (7):

$$R_{n\Delta P_k}(\tau) = \int_0^\infty R_{\Delta P_k e}(\tau-v) \cdot k(v) \cdot dv, \quad (7)$$

где $k(v)$ — импульсная переходная функция системы.

Переменные $P_3(t)$ и $\Delta P_k(t)$ связаны между собой алгебраическим уравнением вида:

$$P_3(t) = \Delta P_k(t) - P_T(t), \quad (8)$$

где $P_3(t)$ — уставка регулятора; $\Delta P_k(t)$ — разность сигналов уставки и датчика обратной связи; $P_T(t)$ — сигнал обратной связи.

С учётом уравнения (8) уравнение для определения импульсной переходной функции будет иметь вид (9):

$$R_{n\Delta P_k}(\tau) + R_{nP_T}(\tau) = \int_0^\infty [R_{\Delta P_k}(\tau-v) + R_{\Delta P_k P_T}(\tau)] k(v) \cdot dv. \quad (9)$$

Так как обратная связь в системе единичная, то корреляционные функции выходного сигнала объекта и сигнала датчика совпадают: $R_{P_T}(\tau) = R_n(\tau)$.

Т.о. полученные уравнения позволяют определить импульсную переходную характеристику САР и сравнить её параметры с теоретическими значениями.

Для вычисления корреляционных функций системы диаграммы графиков (рис. 1) были оцифрованы и записаны в виде массивов данных, уравнение (9) было преобразовано в дискретную форму, разработана программа и проведен расчёт на компьютере. Полученные массивы значений нормированных автокорреляционной и взаимно корреляционной функций были аппроксимированы и представлены в аналитическом виде:

$$\begin{aligned} \rho_n(\tau) &= 0,16 \cdot e^{-0,29\tau/\tau'} + \\ &+ 0,83 \cdot e^{-0,54\tau/\tau'} (\cos(0,8\tau) + 1,1 \sin(0,8\tau/\tau)); \\ \rho_{\Delta P_k}(\tau) &= 0,55 \cdot e^{-0,54\tau/\tau'} + 0,44 \cdot e^{-0,32\tau/\tau'} (\cos(2,2\tau) + \end{aligned}$$

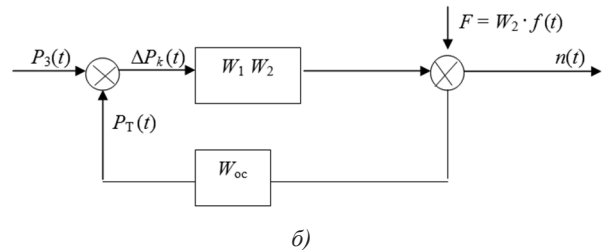


Рис. 2. Структурные схема САР при наличии помех

$$+ 0,7 \sin(2,2/\tau)); \quad (10)$$

$$\rho_{n\Delta Pk}(\tau) = 0,41 \cdot e^{-0,67/\tau} + 0,18 \cdot e^{-0,2/\tau}(\cos(2,2\tau) + 1,1 \sin(2,2/\tau)) + 0,27 \cdot e^{-0,8/\tau}(\cos(0,8\tau) + 0,6 \sin(0,8/\tau));$$

На рис. 3 приведены графики нормированных автокорреляционных функций выходного сигнала объекта $\rho_n(\tau)$ и входного сигнала $\rho_{\Delta Pk}(\tau)$.

График нормированной взаимно корреляционной функции системы $\rho_{n\Delta Pk}(\tau)$ приведен на рис. 4.

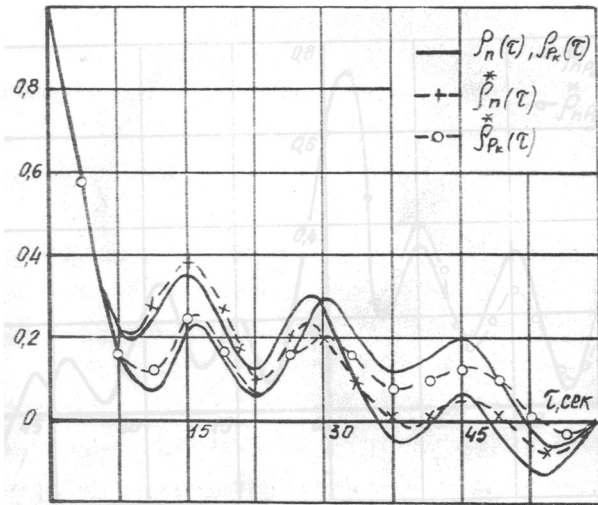


Рис. 3. Автокорреляционные функции выходного сигнала объекта $\rho_n(\tau)$ и входного сигнала $\rho_{\Delta Pk}(\tau)$

После подстановки уравнений (10) в уравнение (9) и решения получена импульсная переходная функция системы:

$$K(\tau) = 0,76 \cdot e^{-1,2/\tau} + 0,24 \cdot e^{-0,2/\tau}(\cos(0,8\tau) - 1,6 \sin(0,8/\tau)) - 0,103 \cdot e^{-0,7/\tau}(\cos(2,2\tau) - 0,42 \sin(2,2/\tau)). \quad (11)$$

Графики импульсных переходных функций, полученных теоретически $K(t)$ и по результатам экспериментальных данных $K(\tau)$ приведены на рис. 5.

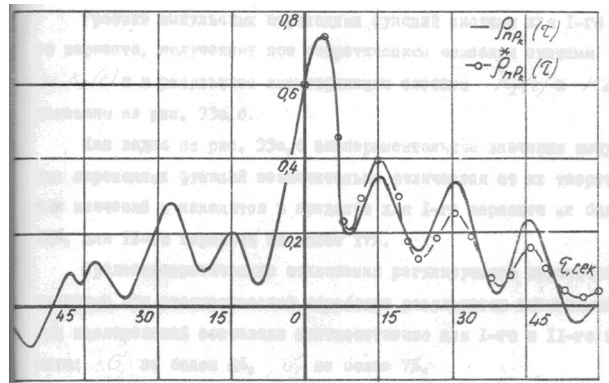


Рис. 4. Нормированная взаимно корреляционная функция системы $\rho_{n\Delta Pk}(\tau)$

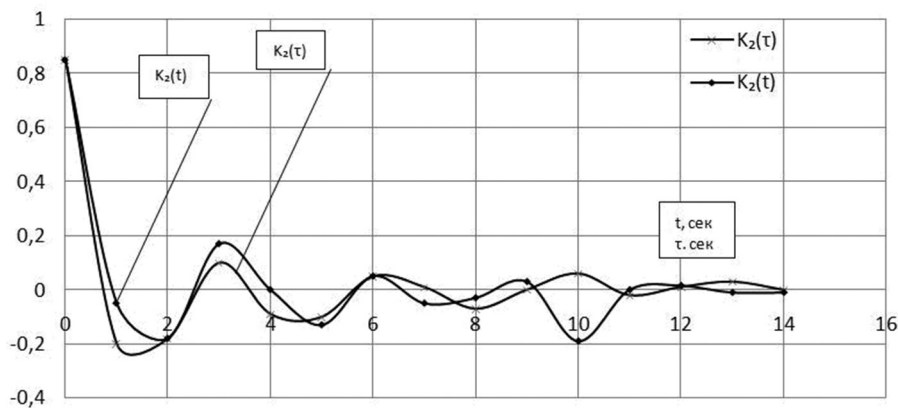


Рис. 5. Графики импульсных переходных функций

ВЫВОДЫ. Как видно из рис. 5 экспериментальные значения импульсной переходной функции значительно отличаются от их теоретических значений и находятся в пределах не более 17%, а среднеквадратическое отклонение регулируемого параметра, полученное при статистической обработке экспери-

ментальных данных, составляет не более 7%. Таким образом разработанная САР удовлетворяет требованиям, предъявляемым к системам данного типа, а полученные результаты могут быть использованы при их проектировании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Политыкин, Б. М.** Шахтные испытания систем дистанционного и автоматического управления щитовым агрегатом [Текст] / Б. М. Политыкин, Ю. Н. Киклевич. — НИИ ИНФОРМТЯЖМАШ, Сб. «Угольное и горнорудное оборудование». — № 1. — 1973.
- [2] **Попов, Е. П.** Теория линейных систем автоматического регулирования и управления [Текст] / Е. П. Попов. — М. : Наука, 1989.
- [3] **Рао, С. Р.** Линейные статистические методы и их применения [Текст] / С. Р. Рао. — М. : Наука, 1968.
- [4] **Noble, B.** Methods Based on the Wiener-Hopf Technique for the Solution of Partial Differential Equations [Text] / B. Noble. — Belfast, Northern Ireland: Pergamon Press, 1958.

© Б. М. Політикін, Ю. Г. Тендітний, Н. В. Тендітня, О. Н. Корнелюк

Надійшла до редколегії 20.04.2016

Статтю рекомендує до друку
канд. техн. наук *Ю. К. Яглицький*