

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

В.В. Павловский¹, О. В. Оксюта¹, В.Я. Аджиева¹

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова»

Аннотация. В статье рассматривается исследование устойчивости объектов и систем автоматического регулирования (САР). Различные способы применения САР, системы и критерии их проверки, а также факторы, влияющие на устойчивость системы.

Ключевые слова: системы автоматического регулирования, факторы, критерии, Найквист, Михайлов, Руф.

INVESTIGATION OF THE STABILITY OF FACILITIES AND AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS

V.V. Pavlovsky¹, O.V. Oksyuta¹, V.Ya. Agyaevna¹

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

Annotation. The article examines the study of the stability of facilities and automatic control systems (ATS). Various methods of application of ATS, systems and criteria for their verification, as well as factors affecting the stability of the system.

Keywords: automatic control systems, factors, criteria, Nyquist, Mikhailov, Ruf.

В современной практике управления, исследование устойчивости и систем автоматического регулирования (САР) являются актуальными. Как любая система, САР должна отвечать основным параметрам устойчивости, она должна поддерживать свои параметра, а также выходные параметры в заданных пределах, что является фундаментальным условием в реалиях современного рынка товаров. Сложность технических систем, увеличения числа взаимосвязанных параметров и внешних воздействий пользователей, вопрос устойчивости становится особенно актуальным.

Системы автоматического регулирования применяются во всех отраслях, где есть элементы промышленного производства, энергетики, медицины и даже космическая отрасль. Таким сферам жизненно необходимы устойчивые системы, ведь малейшие нарушения устойчивости могут привести к серьезным и даже катастрофическим последствиям. Например, экономические потери, экологические последствия (АЭС, ГрЭС, ТЭЦ, нефтяные и газовые хабы) и жизни людей в медицинских центрах. Все эти факторы доказывают жизненную необходимость разработки эффективных методов разработки САР.

Опираясь на мировую практику использования САР, можно разделить факторы влияния на систему на две группы: внутренние (запаздывания или инерционность), внешние (шумы, возмущения или изменения рабочих режимов, человеческий фактор оператора).

Анализируя вышеуказанные факторы, ученые разработали разные подходы для создания САР, многие из них подходят только для конкретных сфер применения. Разберем некоторые из них.

Система критерий Руфа имеет классический алгебраический подход к методам оценки устойчивости линейных систем. Согласно этому критерию, система считается устойчивой, если все корни характеристического уравнения имеют отрицательные вещественные части. Для проверки САР строится так называемая таблица Руфа, где последовательно вычисляются элементы строк на основе исходных коэффициентов.

Альтернативным подходом для проверки систем САР, является критерий Найквиста. Метод представлен в виде графической системы, основывающийся на частной характеристике системы автоматического регулирования. График Найквиста представляется замкнутой кривой, которая показывает изменение амплитуды и фазы выходного сигнала при различных значения частоты входного сигнала. Если число оборотов равно нулю или соответствует количеству неустойчивых полюсов открытой системы, то замкнутая система устойчива.

Так же существует и отечественная система Михайлова. Основывается на анализе фазовой траектории характеристической функции системы в полярных координатах. Основываясь на этой методике, САР является устойчивой, если фазовая траектория при возрастании частоты от нуля до бесконечности обходила начало координат ровно столько раз, сколько полюсов характеристического уровня находится в правой полуплоскости комплексной плоскости.

Каждый из перечисленных критериев имеет свои достоинства и ограничения. Например, алгебраические методы (Руф,) наиболее удобны для анализа систем низкого порядка, тогда как частотные методы (Найквист, Михайлов) позволяют получить более наглядную информацию о поведении системы в широком диапазоне частот. Комбинирование различных подходов обеспечивает наиболее полное представление о состоянии устойчивости исследуемой системы и позволяет принимать обоснованные решения по её оптимизации.

Изучение устойчивости систем автоматического регулирования (САР) – это одна из ключевых задач в современном управлении. Любая система должна быть устойчивой и поддерживать свои параметры в заданных пределах, что особенно важно в условиях конкурентного рынка. По мере усложнения технических процессов и увеличения числа взаимосвязанных параметров вопрос стабильности становится все актуальнее.

Системы автоматического регулирования применяются практически во всех сферах: от промышленного производства до космической отрасли. В этих областях крайне важна надежность работы систем, так как сбои могут привести к серьезным последствиям – от экономических потерь до катастрофических ситуаций на атомных станциях или нефтегазовых объектах. Это подчеркивает необходимость разработки эффективных методов создания устойчивых САР.

Факторы, влияющие на устойчивость системы, можно разделить на две группы: внутренние (например, инерционность или задержки) и внешние (шумы, изменения режимов работы, человеческий фактор). На основе этого различают несколько подходов к анализу устойчивости.

Классическим методом является критерий устойчивости Руфа, который использует алгебраический подход для линейных систем. Система считается устойчивой, если все корни характеристического уравнения имеют отрицательные вещественные части. Проверка проводится через специальную таблицу Руфа.

Другим распространенным методом является критерий Найквиста, основанный на частотной характеристике системы. График Найквиста показывает изменение амплитуды и фазы выходного сигнала при разных частотах входного сигнала. Замкнутая система устойчива, если число оборотов кривой соответствует количеству неустойчивых полюсов открытой системы.

Отечественный метод Михайлова анализирует фазовую траекторию характеристической функции в полярных координатах. Система устойчива, если траектория обходит начало координат столько раз, сколько полюсов находится в правой полуплоскости комплексной плоскости.

Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения. Алгебраические подходы удобны для простых систем, а частотные методы дают более наглядное представление о поведении системы на различных частотах. Часто комбинируют разные подходы для получения полной картины устойчивости.

Для анализа используются также:

- Линейные методы через передаточную функцию
- Частотные методы (диаграммы Боде, Найквиста, Николса)
- Методы временной области для изучения переходных процессов
- Численное моделирование реальных условий работы

Выбор конкретного метода зависит от типа системы и области применения. Современные технологии, включая искусственный интеллект, расширяют возможности анализа, особенно для сложных многосвязных систем.

Таким образом, исследование устойчивости САР остается одной из центральных задач в теории и практике автоматического управления. Для обеспечения надежности и безопасности современных технических систем необходимо постоянно совершенствовать методы анализа и внедрять новые технологии. Это особенно актуально в условиях растущей сложности и взаимосвязанности различных отраслей промышленности и инфраструктуры.

Список литературы

1. Муханин, Л. Г. Схемотехника измерительных устройств: учебное пособие / Л. Г. Муханин. — 2-е изд., стер. — СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 284 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — ISBN 978-5-8114-0843-6 — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/205958125038> (дата обращения: 08.02.2025)
2. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники: учебник / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — 7-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 736 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература). — ISBN 978-5-8114-0523-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/353639> (дата обращения: 08.02.2025)

3. Системы автоматического регулирования. Теория. – URL: Системы автоматического регулирования. Теория. – URL: <https://obrazovanie-gid.ru/dokumentaciya/princip-raboty-deshifratora-kratko.html> (дата обращения: 08.02.2025)

4. Полуэктов, А. В. Моделирование ослабления ионизирующего излучения за счет защитного корпуса микросхем / А. В. Полуэктов, Р. Ю. Медведев, А. И. Заревич // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 2. – С. 93-100. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-93-100. – EDN QQRQXE.

5. Создание средств проверки электрической схемы с использованием схемы тестовых внешних воздействий / К. В. Зольников, Д. В. Шеховцов, К. В. Литвинов, М. А. Солодилов // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 36-44. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. – EDN EAGOOO.

6. Калач, А. В. О возможностях применения метода почти-периодического анализа для обработки изображений / А. В. Калач, А. А. Парамонов, С. Л. Сахаров // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 44-52. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. – EDN НКBSAV.

7. Коробова, Л. А. Системный подход при решении прикладных медицинских диагностических задач / Л. А. Коробова, Т. А. О. Эйнуллаев, Р. В. Тэн // Моделирование систем и процессов. – 2024. – Т. 17, № 3. – С. 52-61. – DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. – EDN PSBDLB.

8. Обзор логических базисов и микросхем при построении комбинационного устройства с учетом надежности / Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин, К. В. Зольников, О. А. Денисова, А. В. Полуэктов // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 1. – С. 115-124.

9. Полуэктов, А. В. Использование сторонних библиотек при написании программ для обработки статистических данных / А. В. Полуэктов, Ф. В. Макаренко, А. С. Ягодкин // Моделирование систем и процессов. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 33-41.

References

1. Mukhanin, L. G. Circuitry of measuring devices: Textbook / L. G. Mukhanin. – 2nd ed., erased. – St. Petersburg: Lan Publishing House, 2016. – 284 p.: ill. — (Textbooks for universities. Special literature). — ISBN 978 5 8114 0843 6 — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/205958125038> (access date: 08.02.2025).

2. Ivanov, I. I. Electrical engineering and fundamentals of electronics: Textbook / I. I. Ivanov, G. I. Solovyov, V. Ya. Frolov. – 7th ed., revised. and additional. – St. Petersburg: Lan Publishing House, 2012. – 736 pp.: ill. — (Textbooks for universities. Special literature). — ISBN 978-5-8114-0523-7. — Text: electronic // Lan: electronic library system. — URL: <https://e.lanbook.com/book/353639> (access date: 08.02.2025)
3. Automatic control systems. Theory. — URL: Automatic control systems. Theory. — URL: <https://obrazovanie-gid.ru/dokumentaciya/princip-raboty-deshifratora-kratko.html> (access date: 08.02.2025)
4. Poluektov, A. V. Modelling of the attenuation of the ionizing radiation due to the protective case of microchips / A. V. Poluektov, R. Yu. Medvedev, A. I. Zarevich // Modelling of systems and processes. — 2024. — T. 17, № 2. — C. 93-100. — DOI 10.12737/2219-0767-2024-17-2-2-93-100. — EDN QQRQXE.
5. Creation of means of checking an electrical circuit using a test circuit of external influences / K. V. Zolnikov, D. V. Shekhovtsov, K. V. Litvinov, M. A. Solodilov // Modeling of systems and processes. — 2024. — Vol. 17, No. 3. — pp. 36-44. — DOI 10.12737/2219-0767-2024-34-42. — EDN EAGOOO.
6. Kalach, A. V. On the possibilities of using the method of near-periodic analysis for image processing / A. V. Kalach, A. A. Paramonov, S. L. Sakharov // Modeling of systems and processes. — 2024. — Vol. 17, No. 3. — pp. 44-52. — DOI 10.12737/2219-0767-2024-42-50. — EDN HKBSAV.
7. Korobova, L. A. A systematic approach to solving applied medical diagnostic problems / L. A. Korobova, T. A. O. Eynullaev, R. V. Ten // Modeling of systems and processes. — 2024. — Vol. 17, No. 3. — pp. 52-61. — DOI 10.12737/2219-0767-2024-50-59. — EDN PSBDLB.
8. Review of logical bases and microcircuits in the construction of a combination device with reliability in mind / Ph. V. Makarenko, A. S. Yagodkin, K. V. Zolnikov, O. A. Denisova, A. V. Poluektov // Modeling of systems and processes. — 2022. — Vol. 15, No. 1. — pp. 115-124.
9. Poluektov, A. V. The use of third-party libraries when writing programs for processing statistical data / A. V. Poluektov, Ph. V. Makarenko, A. S. Yagodkin // Modeling systems and processes. — 2022. — Vol. 15, No. 2. — pp. 33-41.