

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ SCIENTIFIC PUBLICATIONS

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES

.....

МАТЕМАТИКА MATHEMATICS

.....

УДК 519.71

И. К. Асмыкович, Д. Е. Сидорчик, А. А. Королёв
Белорусский государственный технологический университет

О БАЗЕ ДАННЫХ ЛИНЕЙНЫХ ДЕСКРИПТОРНЫХ СИСТЕМ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Статья посвящена результатам многолетней работы по сбору публикаций по специальному классу линейных математических моделей в качественной теории динамических систем управления – дескрипторным системам, которые ряд авторов называют дифференциально-алгебраическими, либо сингулярными, либо неразрешенными относительно производной, или гибридными. Библиографический указатель составлен на основе анализа публикаций в многочисленных журналах по математической теории управления, реферативных журналах, специализированных информационных ресурсов Интернета, списков цитированных работ. Для удобства работы с указателем составлена база данных, которая позволяет быстро находить работы конкретного автора, распределение публикаций по годам, работы по специальным задачам для дескрипторных систем различного вида. База данных реализована в СУБД Microsoft Access и содержит три таблицы «Журналы», «Авторы», «Литература».

Ключевые слова: Библиографический указатель, теория управления, дескрипторные системы, база данных.

Для цитирования: Асмыкович И. К., Сидорчик Д. Е., Королёв А. А. О базе данных линейных дескрипторных систем в теории управления // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. 2023. № 1 (266). С. 5–9. DOI: 10.52065/2520-6141-2023-266-1-1.

I. K. Asmykovich, D. E. Sidorchik, A. A. Korolyov
Belarusian State Technological University

ABOUT THE DATABASE OF LINEAR DESCRIPTOR SYSTEMS IN CONTROL THEORY

The article is devoted to the results of many years of work on collecting publications on a special class of linear mathematical models in the qualitative theory of dynamic control systems – descriptor systems, which a number of authors call differential-algebraic, or singular, or unresolved with respect to the derivative, or hybrid. The bibliographic index is compiled on the basis of an analysis of publications in numerous journals

on mathematical control theory, abstract journals, specialized Internet information resources, and lists of cited works. For the convenience of working with the index, a database has been compiled that allows you to quickly find the works of a particular author, the distribution of publications by year, works on special tasks for descriptor systems of various types. The database is implemented in the Microsoft Access DBMS and contains three tables “Journals”, “Authors”, “Literature”.

Keywords: Bibliographic index, control theory, descriptor systems, database.

For citation: Asmykovich I. K., Sidorchik D. E., Korolyov A. A. About the database of linear descriptor systems in control theory. *Proceedings of BSTU, issue 3, Physics and Mathematics. Informatics*, 2023, no. 1 (266), pp. 5–9. DOI: 10.52065/2520-6141-2023-266-1-1 (In Russian).

Введение. В качественной теории управления движением, которая активно развивалась во второй половине XX в., одной из широко распространенных математических моделей была линейная система обыкновенных дифференциальных уравнений, или уравнений в частных производных, или нелинейная модель, для которой обычно рассматривалось линейное приближение. Для таких объектов подробно рассмотрены и проанализированы основные задачи качественной теории управления, а именно, управляемость, наблюдаемость, стабилизируемость, модальное управление, оптимальное управление, получены критерии их разрешимости, разработаны алгоритмы синтеза необходимых регуляторов по принципу обратной связи для управляемости, стабилизации, модального и оптимального управлений. Основные публикации до 80-х годов прошлого века отражены в библиографических указателях [1, 2], основные результаты во многочисленных обзорах, например, [3]. Но в XXI в. было выяснено, что даже для таких моделей решены далеко не все задачи [4].

Классической математической моделью в качественной теории управления для обыкновенных линейных систем является система вида

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t); \quad (1)$$

$$x(0) = x_0;$$

$$y(t) = Cx(t). \quad (2)$$

где $x(t)$ – n -вектор состояния; $u(t)$ – r -вектор управляющих воздействий; y – m -вектор выхода или наблюдаемых координат; A , B , C – постоянные матрицы соответствующих размеров.

При дальнейшем изучении реальных динамических систем управления было выяснено, что представление (1), (2) далеко не всегда корректно описывают объект управления. При составлении математических моделей физических процессов и систем автоматического регулирования необходимо учитывать как дифференциальные, так и алгебраические связи, как непрерывные, так и дискретные взаимодействия. Адекватной математической моделью таких процессов являются линейные системы дифференциальных уравнений, неразрешенные

относительно производной. На необходимость изучения таких систем обращал внимание академик Лузин Н. Н. [5]. Эти системы находят широкое распространение в самых разнообразных областях современной науки и техники: автоматике и телемеханике, радиологии, биологии и медицине, при моделировании технологических процессов в плазме и лазерах, ряде экономических моделей и т. д. [7–16]. Их называют дескрипторными [11, 13, 14, 15], а также дифференциально-алгебраическими [12], или алгебродифференциальными [9, 10], либо сингулярными [8, 16], либо неразрешенными относительно производной [7]. Математически такие системы записываются в виде

$$\begin{aligned} S\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t); \\ Sx(0) &= Sx_0, \quad \det S = 0, \end{aligned} \quad (3)$$

В таких системах имеются существенные сложности в вопросах существования и единственности решения, но при условии регулярности [8]:

$$\det[\lambda S - A] \neq 0. \quad (4)$$

Они снимаются, и существует единственное непрерывное решение при достаточно гладких управляющих воздействиях.

Системы в виде (3) и их дискретные аналоги широко используются при моделировании процессов в электрических цепях, технологических процессах переноса (материала и тепла), задачах демографии, финансовых расчетах. Это происходит тогда, когда наряду с дифференциальными связями встречаются и алгебраические (функциональные) зависимости, например условия материального или финансового баланса.

Отметим, что при составлении библиографических указателей прежними способами, основанными на работе с научными и реферативными журналами, возникают трудности при их использовании. Так, указатель [6] содержит 6016 публикаций по непрерывным дробям, но найти работы по конкретным задачам теории непрерывных дробей или посмотреть распределение работ по годам либо по журналам весьма затруднительно.

Понятно, что при этом возникает проблема дублирования работ и исследований, когда одни и те же задачи с небольшими изменениями изучаются в большом количестве статей или тезисов и материалов конференций. Поэтому возникла идея использовать современные возможности информационных технологий и разработать базу данных, которая позволит быстро находить публикации конкретного автора, даже если статья в соавторстве, выяснять число и годы публикаций по конкретным задачам для дескрипторных систем.

Основная часть. Эта база данных создана на основе библиографического указателя [15] по теме дескрипторных систем управления. Указатель составлялся в течение 35 лет путем анализа реферативных и научных журналов со статьями по данной тематике, просмотра материалов научных конференций по качественной теории управления динамическими системами, математическому моделированию, анализа списков цитирования статей по дескрипторным системам. База данных содержит сведения о литературных источниках, журналах, материалах конференций, монографиях и сборниках научных трудов, в которых были опубликованы статьи по указанной тематике, а также полный список авторов. Реализована в СУБД Microsoft Access.

Данные расположены в основных трех таблицах: «Журналы», «Авторы», «Литература». Для осуществления возможности выборки данных между ними использовались связи «один-ко-многим» (реализуется тогда, когда объекту А может принадлежать или же соответствовать несколько объектов Б, но объекту Б может соответствовать только один объект А) и «многие-ко-многим» (реализуется в том случае, когда нескольким объектам из таблицы А может соответствовать несколько объектов из таблицы Б, и в то же время нескольким объектам из таблицы Б соответствует несколько объектов из таблицы А). «Журналы» и «Литература» связаны первым типом связи, «Литература» и «Авторы» – вторым. Для реализации связи «многие-ко-многим» была создана промежуточная таблица, содержащая в себе ключи связанных таблиц, которые являются значениями, уникально идентифицирующими каждую запись в них.

Для удобства отображения информации для пользователя было создано три запроса на выборку данных, которые в зависимости от введенной информации пользователем выводят соответствующие записи в объединенной таблице. Реализовано три варианта отбора записей. Это выборка данных:

- на основе информации о публикации;
- информации об авторе;
- для отображения публикаций в журнале.

При выборке данных на основе информации о публикации или об авторе вводится непосредственно полное наименование, или фамилия, либо отдельная фраза, или буква в первом диалоговом окне. Также потом можно ввести конкретный год, если пользователя интересуют публикации за какой-то конкретный промежуток времени. В выборке данных по журналу достаточно ввести наименование журнала или ключевое слово, по которым будут выведены публикации в подходящих под условия запроса журналах.

Для удобства восприятия информации для пользователя в выборке по авторам и журналам была добавлена функция-модуль, написанная на языке Visual Basic, осуществляющая подсчет выведенных записей и присвоение каждой из них в выборке своего порядкового номера. Модуль – это объект Access, в котором хранится коллекция процедур. Внутри данного модуля написана пользовательская функция Numeration, принимающая в себя один аргумент var, по которому и осуществляется нумерация записей. Функция, в свою очередь, состоит из ряда операторов, которые выполняют некоторое действие и тоже могут получать аргументы. Однако, в отличие от подпроцедур в Access, функции возвращают значение.

В дальнейшем данная база может быть улучшена, в частности, может быть добавлен графический интерфейс для более понятной и удобной работы с данными для пользователя, добавлены возможности одновременного поиска по фамилии и журналу, году и автору, году и журналу.

Заключение. Таким образом, если надо выяснить современное состояние исследований по стабилизации или модальному управлению, управляемости или наблюдаемости, расщепимости или реконструкции дескрипторных систем, то это можно будет сделать достаточно быстро. Такая база данных позволит при переходе на изучение специальных классов дескрипторных систем, в частности дескрипторных систем с запаздыванием, систем над коммутативными кольцами, нелинейных систем различных классов, систем с многомерным временем, находить мгновенно список публикаций. Можно получить список научных журналов и конференций, в которых рассматриваются системы такого типа. Конечно, сейчас в Интернете есть большое количество поисковых систем, но все они весьма широкого профиля, и различают дескрипторные дифференциально-алгебраические, сингулярные, неразрешенные относительно производной, а в данной базе данных они объединены, и поэтому собраны почти все работы по дескрипторным системам за 40 лет [14, 15].

Список литературы

1. Теория управления движением. Ч. I. Линейные конечномерные системы: библиогр. указ. / сост.: Р. Габасов [и др.]. Минск, 1983. 132 с.
2. Теория управления движением. Ч. II. Нелинейные и бесконечномерные системы: библиогр. указ. / сост.: Р. Габасов [и др.]. Минск, 1983. 87 с.
3. Задачи управления конечномерными системами / сост.: И. К. Асмыкович [и др.] // Автоматика и телемеханика. 1986. № 11. С. 5–29.
4. Поляк Б. Т., Щербаков П. С. Трудные задачи линейной теории управления // Автоматика и телемеханика. 2005. № 5. С. 7–46.
5. Лузин Н. Н. К изучению матричной теории дифференциальных уравнений // Автоматика и телемеханика. 1940. № 5. С. 4–66.
6. Шмойлов В. И., Коровин Я. С., Войтулевич В. Ю. Непрерывные дроби: библиогр. указ. Saarbruken, Germany: Lap Lambert Academic Publishing, 2017. 560 с.
7. Ахундов А. А. Обзор некоторых результатов по теории линейных дифференциальных уравнений, неразрешенных относительно производной // *Mathematical control theory*. Warsaw: Banach Contr., 1985. Vol. 14. P. 7–16.
8. Dai L. Singular Control Systems // *Lecture Notes in Control and information Sciences*. Berlin, Springer-Verlag, 1989. Vol. 118. 439 p.
9. Бояринцев Ю. Е. Линейные и нелинейные алгебро-дифференциальные системы. Новосибирск, Наука, 2000. 222 с.
10. Feng Yu., Yagoubi M. Robust Control of Linear Descriptor Systems. Singapore: Springer, 2017.
11. Ilchmann A., Reis T. Surveys in Differential-Algebraic Equations I-IV Differential-Algebraic Equations Forum. Berlin; Heidelberg, Springer, 2013–2017.
12. Белов А. А., Курдюков А. П. Дескрипторные системы и задачи управления. М.: Физматлит, 2015. 272 с.
13. Дескрипторные системы управления: библиогр. указ. / АН БССР, Ин-т математики; сост.: Р. Габасов, Ф. М. Кириллова, И. К. Асмыкович. Минск, 1988. 38 с.
14. Асмыкович И. К. О разработке базы данных публикаций по дескрипторным системам // Информационные технологии: материалы 84-й науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 3–15 февраля 2020 г. Минск, БГТУ, 2020. С. 139–140. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/3357> (дата обращения: 03.10.2022).
15. Дескрипторные системы управления: библиогр. указ. / сост. И. К. Асмыкович. Минск: БГТУ, 2022. 343 с. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/49572> (дата обращения: 03.10.2022).
16. Debeljkovic D. Lj., Buzurovic I. M. Lyapunov Stability of Linear Continuous Singular Systems: An Overview // *International Journal of Information & System Science (Canada)*. 2011. Vol. 7, no. 2–3. P. 247–268.

References

1. Gabasov R. Kirillova F. M., Marchenko V. M., Asmykovich I. K. *Teoriya upravleniya dvizheniyem. Ch. I. Lineynyye konechnomernyye sistemy: bibliogr. ukazatel'* [Theory of motion control. Part I. Linear finite-dimensional systems: bibliographic index]. Minsk, 1983. 132 p. (In Russian).
2. Gabasov R. Kirillova F. M., Marchenko V. M., Asmykovich I. K. *Teoriya upravleniya dvizheniyem. Ch. II. Nelineynyye i beskonechnomernyye sistemy: bibliogr. ukazatel'* [Theory of motion control. Part II. Nonlinear and infinite-dimensional systems: bibliographic index]. Minsk, 1983. 87 p. (In Russian).
3. Asmykovich I. K., Gabasov R., Kirillova F. M., Marchenko V. M. Problems of control of finite-dimensional systems. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Telemechanics], 1986, no. 11, pp. 5–29 (In Russian).
4. Polyak B. T., Shcherbakov P. S. Difficult problems of linear control theory. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Telemechanics], 2005, no. 5, pp. 7–46 (In Russian).
5. Luzin N. H. On the study of the matrix theory of differential equations. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Telemechanics], 1940, no. 5, pp. 4–66 (In Russian).
6. Shmoilov V. I., Korovin Ya. S., Voitulevich V. Yu. *Nepreryvnyye drobi: bibliogr. ukazatel'* [Continuous fractions: bibliographic index]. Saarbruken, Germany, Lap Lambert Academic Publishing, 2017. 560 p. (In Russian).
7. Akhundov A. A. Review of some results on the theory of linear differential equations unsolvable with respect to the derivative. *Mathematical control theory*. Warsaw, Banach Contr. Publ., 1985, vol. 14, pp. 7–16 (In Russian).
8. Dai L. Singular Control Systems. *Lecture Notes in Control and information Sciences*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 1989, vol. 118. 439 p.

9. Boyarintsev Yu. E. *Lineynyye i nelineynyye algebro-differentsial'nyye sistemy* [Linear and non-linear algebraic-differential systems]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2000 (In Russian).
10. Feng Yu, Yagoubi M. *Robust Control of Linear Descriptor Systems*. Singapore, Springer Publ., 2017.
11. Ilchmann A., Reis T. *Surveys in Differential-Algebraic Equations I-IV Differential-Algebraic Equations Forum*. Berlin; Heidelberg, Springer Publ., 2013–2017.
12. Belov A. A., Kurdyukov A. P. *Deskriptornyye sistemy i zadachi upravleniya* [Descriptor systems and control problems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2015. 272 p. (In Russian).
13. Gabasov R., Kirillova F. M., Asmykovich I. K. (comp.). *Deskriptornyye sistemy upravleniya: bibliogr. ukaz.* [Descriptor control systems: bibliographic index]. Minsk, 1988. 38 p. (In Russian).
14. Asmykovich I. K. On the development of a database of publications on descriptor systems [Information technologies: materials of the 84th scientific and technical. conf. faculty, researchers and graduate students (with international participation)]. Minsk, 2020, pp. 139–140 Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/3357> (accessed 03.10.2022)
15. Descriptor control systems: bibliographic index / comp. I. K. Asmykovich. Minsk, BGTU, 2022. 343 p. Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/49572> (accessed 03.10.2022)
16. Debeljkovic D. Lj., Buzurovic I. M. Lyapunov Stability of Linear Continuous Singular Systems: An Overview. *International Journal of Information & System Science (Canada)*, 2011, vol. 7, no. 2–3, pp. 247–268.

Информация об авторах

Асмыкович Иван Кузьмич – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: asmik@tut.by

Сидорчик Дмитрий Евгеньевич – старший преподаватель кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dmitrysidorhik@gmail.com

Королёв Артем Андреевич – ассистент кафедры автоматизации производственных процессов и электротехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: artem_korolev13@mail.ru

Information about the authors

Asmykovich Ivan Kuzmich – PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Higher Mathematics. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: asmik@tut.by

Sidorchik Dmitry Evgenievich – Senior Lecturer, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dmitrysidorhik@gmail.com

Korolyov Artyom Andreevich – Assistant Lecturer, the Department of Automation of Production Processes and Electrical Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: artem_korolev13@mail.ru

Поступила после доработки 30.11.2022