

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 8 (77) / 2020

6 часть

Редакционная коллегия:

д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

- Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатъева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан) (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор

д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Международные индексы:



Ответственный редактор:

Главный редактор:

Завальский Яков Андреевич (Россия), доктор психологических наук, профессор

Международный редакционный совет:

Научный редактор: Игнатъев Сергей Петрович (Россия), доктор педагогических наук, профессор

Ответственный секретарь редакции: Давыдова Наталия Николаевна, кандидат психологических наук, доцент.

Арсеньев Дмитрий Петрович (Россия),

доктор психологических наук, профессор, заведующий лабораторией

Бычковский Роман Анатолиевич (Россия),

доктор психологических наук, профессор, МГППУ

Ильченко Федор Валериевич (Россия),

доктор психологических наук, профессор, заведующая лабораторией психологии

Кобзон Александр Владимирович (Россия),

доктор педагогических наук, профессор

Панов Игорь Евгеньевич (Россия),

доктор технических наук, профессор

Петренко Вадим Николаевич (Казахстан),

доктор психологических наук, профессор

Прохоров Александр Октябринович (Казахстан),

доктор педагогических наук, профессор

Савченко Татьяна Николаевна (Беларуссия),

кандидат психологических наук, доцент

Стеценко Марина Ивановна (США),

Ph.D., профессор

Строганова Татьяна Александровна (Украина),

доктор педагогических наук, профессор

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия
E-mail: info@euroasia-science.ru ; www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии г. Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Акрамов М.Б., Неъматов И.У., Нурализода А.Н.</i> О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН4	<i>Курманкожаев А., Есбергенова Э.С.</i> СТРУКТУРНЫЕ СВЯЗИ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ АССИМЕТРИЧНЫХ ТИПОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ13
<i>Issayeva G.B., Ibraev M.S., Koishybekova A.K., Absatarova B.R., Aitkazina A.A., Zhumagulova Sh.P., Vodolazkina N., Ibraeva Z.M.</i> SWARM INTELLIGENCE9	<i>Миронов Д.О.</i> РАСЧЕТ ТОРМОЗНОГО ПУТИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ18

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<i>Сармасов С.Н., Рагимов Р.Ш., Абдуллаев Т.Ш.</i> ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИИ КИСЛОРОДА НА ПРОВОДИМОСТЬ ПЛЕНОК РВТЕ.21	<i>Shuen Wang, Ying Wang, Yिंगgan Tang*</i> CONTINUOUS-TIME FRACTIONAL ORDER LINEAR SYSTEMS IDENTIFICATION USING CHEBYSHEV WAVELET23
--	---

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 004.94

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.77.1000

Акромов Мухаммад Бозорович*Заведующей кафедрой**“Энергоэффективных и ресурсосберегающих**Технологии**” Душанбинского Филиала федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет**«МИСиС», к.ф.-м.н., доцент.**Адрес: 734025. Республика Таджикистан,**г. Душанбе, ул. Нахимова, 64/14.**Тел: +992 917 60 77 60***Неъматов Илхомидин Усмонович***к.э.н., доцент.**Декан факультета информационных технологий в экономике**Таджикского государственного финансово-экономического университета.**Адрес: 734025. Республика Таджикистан,**г. Душанбе, ул. Нахимова, 64/14***Нурализода Амрулои Назрулло***к.э.н., доцент**Декан факультета финансов и кредита**Таджикского государственного финансово-экономического университета.**Адрес: 734025. Республика Таджикистан,**г. Душанбе, ул. Нахимова, 64/14.*

ABOUT THE POSSIBILITIES OF COMPUTER SIMULATION APPLICATION FOR PLANNING THE WORK OF TRANSPORT ON THE EXAMPLE OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN

Akramov Muchammad Bozorovich*Head of the Department “Energy Efficient and Resource Saving”**Technologies ”Dushanbe Branch of the Federal State autonomous educational institution of higher education National Research Technological University MISiS, Ph.D., Associate Professor.**Address: 734025. Republic of Tajikistan, Dushanbe, st. Nakhimova, 64/14.**Tel: +992 917 60 77 60***Nematov Ilkhomidin Usmonovich***Dean of the Faculty of Information Technology in the economy**of the Tajik state University of Finance and Economics,**Ph.D., Associate Professor.**Address: 734025. Republic of Tajikistan, Dushanbe, st. Nakhimova, 64/14.***Nuralizoda Amruloi Nazrullo***Dean of the Faculty of Finance and Credit,**Tajik State University of Finance and Economics,**Ph.D., Associate Professor.**Address: 734025. Republic of Tajikistan, Dushanbe, st. Nakhimova, 64/14.*

АННОТАЦИЯ

В статье приводятся результаты компьютерного моделирования состояния транспорта республики Таджикистан. Прогнозирование в хозяйственной деятельности транспорта республики Таджикистан с учетом множества влияющих факторов приводит к хорошим результатам, так как в дальнейшем применяя результаты прогнозирования можно целесообразно запланировать и подобрать необходимых материальных ценностей и положительных факторов для оптимизации работы транспорта республики Таджикистан. Используя экономические показатели за предыдущие годы можно прогнозировать перспективы развития любого вида транспорта и выбрать оптимальный вариант планирования транспорта на следующие годы.

В работе применены методы компьютерной моделирования в экономике. Определены математические уравнения модели, применяя которых можно прогнозировать и запланировать запчасти к транспортным средствам, а также горючие смазочные материалы (ГСМ) для них.

ABSTRACT

The article presents the results of computer modeling of the state of transport of the Republic of Tajikistan. Prediction in the economic activity of the transport of the Republic of Tajikistan, taking into account many influential factors, leads to good results, since in the future, using the results of forecasting, it is possible to plan and select the necessary material values and positive factors to optimize the transport of the Republic of Tajikistan. Using economic indicators for previous years, you can predict the prospects for the development of any type of transport and choose the best option for transport planning for the next years.

The paper applied the methods of computer modeling in the economy. The mathematical equations of the model are determined, using which it is possible to predict and plan spare parts for vehicles, as well as combustible lubricants for them.

Ключевые слова: моделирования, экономические показатели, транспорт, динамика, изменение, метод, статистика, перспектива, компьютер, регрессия.

Keywords: modeling, economic indicators, transport, dynamics, change, method, statistics, perspective, computer, regression.

Введение. Республика Таджикистан — государство на Центральной Азии, вдали от морей и океанов, типично горная страна с высотами от 300 до 7495 м. 93% территории республики Таджикистан занимают горы, относящиеся к высочайшим горным системам мира.

Наземный транспорт Республики Таджикистан был и остается важнейшей коммуникационной структурой региональной хозяйственной и общественной жизни страны. В связи с этим, эффективное внедрение в жизнь разработанных проектов, направленных на рост экономики страны, невозможно без решения транспортных проблем, и в первую очередь, проблем автомобильного транспорта. Данная проблема стало еще более востребованным с приобретением республикой независимости.

Для прогнозирования состояние системы в последнее время применяются разнообразные методы исследования. Прогнозирование в хозяйственной деятельности системы с учетом множество влияющих факторов приводит к хорошим результатам, так как в дальнейшем применяя результаты прогнозирования можно целесообразно запланировать и подобрать необходимых материальных ценностей и положительных факторов для развития конкретной экономической системы [1 - 8].

Целью работы является:

- используя экономические показатели за предыдущие годы прогнозировать перспективы развития наземного транспорта и выбрать оптимальный вариант планирования работы транспорта республики Таджикистан на следующие годы;

- применения компьютерного моделирования для планирования работы транспорта республики Таджикистан;

- определение математические уравнения модели, применяя которых можно прогнозировать и запланировать запчасти к транспортным средствам,

- а также горючие смазочные материалы (ГСМ) для них.

Материалы исследования.

Известно что, транспорт как вид хозяйственной деятельности подразделяется на транспорт общего и необщего пользования.

Транспорт общего пользования это транспорт, удовлетворяющий потребность всех отраслей экономики и населения в перевозках грузов и пассажиров, перемещающие различные виды продукции между производителями и потребителями, осуществляющий общедоступное транспортное обслуживание населения.

К перевозкам транспорта общего пользования относятся перевозки на коммерческой основе пассажиров или грузов. Перевозка, осуществляемая коммерческой организацией, признается перевозкой транспортом общего пользования, если из закона, иных правовых актов или выданного этой организации разрешения вытекает, что эта организация обязана осуществлять перевозки грузов, пассажиров и багажа по обращению любого гражданина или юридического лица.

Транспорт необщего пользования, как правило перевозит грузы и пассажиров своего предприятия, объединения (различные фирмы, фермерского-дехканские хозяйства, ассоциации, концерна и т.п.)

Используя экономические показатели за предыдущие годы можно прогнозировать перспективы развития любого вида транспорта и выбрать оптимальный вариант планирования транспорта на следующие годы.

Применяя статистические данные, «Статистический ежегодник республики Таджикистан», нами смоделирована хозяйственный деятельность транспорта республики Таджикистан[9]. При моделирование применены методы математической и компьютерной моделирования в экономике.

Инструменты моделирования.

Программу Sigma Plot, как инструмент моделирования мы применяем для построения графиков зависимости параметров и нахождения коэффициентов регрессионных уравнений, и это отражен во многих наших статьях[6 – 8, 10-12]. Графики зависимости объем перевозки грузов и пассажиров за 10 лет автомобильным и авиационным транспортом по республике

Таджикистан также построены с применением программы Sigma Plot.

Достоинства программы Sigma Plot в том, что по полученным результатам можно определить изменение показателей и находить математические зависимости этих переменных по годам.

Результаты моделирования и анализ полученных результатов.

На рисунке 1 приведена зависимость объема перевозки грузов и пассажиров по республике Таджикистан за период 2010 - 2019 годы.

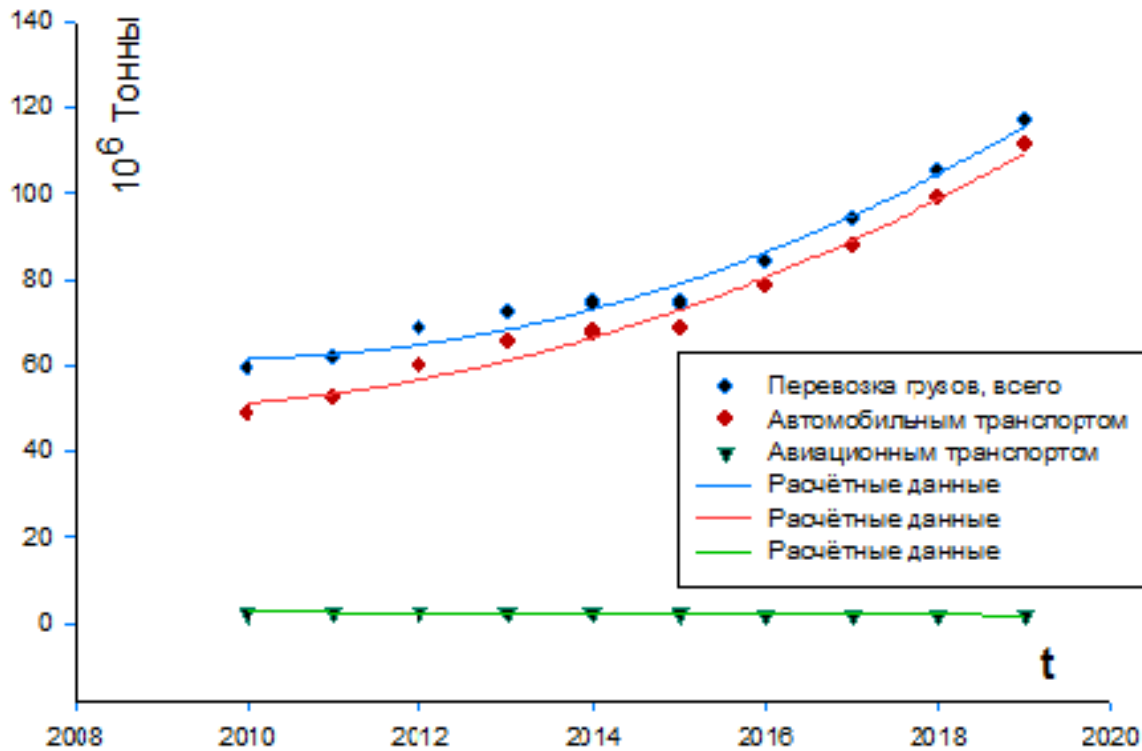


Рисунок 1 - Изменение объема перевозки грузов и пассажиров за период 2010 – 2019 гг.

Применяя методы компьютерного моделирования, нами определены эмпирические зависимости показателей.

Все виды транспорта (Млн. тонн)

$$V = 2547944,37 - 2535,52V + 0,6308 V^2 \quad (1)$$

Nonlinear Regression

Data Source: Перевозка грузов (Всего, 10⁶ тонны)

Equation: Polynomial; Quadratic

$$f=y_0+a*x+b*x^2$$

R Rsqr Adj Rsqr Standard Error of Estimate

0,98960,97940,97353,0868

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
y0	2547944,3727543872,0770		4,6848	0,0022310446988891,0183<	
a	-2535,5183	539,9567	-4,6958	0,0022	1,2418E+012<
b	0,6308	0,1340	4,7069	0,0022310448093361,0318<	

Analysis of Variance:

Uncorrected for the mean of the observations:

DF	SSMS			
Regression	3	68900,6034	22966,8678	
Residual	7	66,6967	9,5281	
Total	1068967,30016896,7300			

Corrected for the mean of the observations:

DF	SS	MS	F	P
----	----	----	---	---

На графике (Рисунок 1) теоретические расчётные значения показателей согласно эмпирической уравнения 1 приведены сплошными черными линиями. Также нами рассчитаны регрессионные коэффициенты уравнения.

Значения регрессионных коэффициентов для перевозки грузов всеми видами транспорта.

Regression	2	3169,0472	1584,5236	166,3001	<0,0001
Residual	7	66,6967	9,5281		
Total	93235,7438	359,5271			

Анализируя приведенные факты, можно заметить неустойчивость некоторых экономических показателей по республике. Например, роль авиаперевозок год за годом уменьшается, уступая свою месту наземным транспортным средствам.

Среди видов наземных транспортных средств ведущее место в республике занимает автомобильный транспорт. Перспективы развития автомобильного транспорта в республике можно прогнозировать находя математический модель

изменения параметров изменения за определенный период времени. Нами также определены эмпирические зависимости в виде регрессионной квадратичной зависимости (см. Рис.1).

Автомобильный транспорт (Млн. тонн)

$$V = 2136301,15 - 2127,33V + 0,5296V^2 \quad (2)$$

Далее приводим рассчитаны регрессионные коэффициенты уравнения (2).

Nonlinear Regression (Автомобильный транспорт)

Data Source: Data 1 in Notebook1

Equation: Polynomial; Quadratic

$$f=y0+a*x+b*x^2$$

R Rsqr Adj Rsqr Standard Error of Estimate

0,99070,98150,97623,1152

	Coefficient	Std. Error	t	P	VIF
y0	2136301,1483550306,5046		3,8820	0,0060312064098215,1328<	
a	-2127,3263 546,3450		-3,8937	0,0059	1,2483E+012<
b	0,5296 0,1356		3,9056	0,0059312065776440,1528<	

Analysis of Variance:

Uncorrected for the mean of the observations:

DF SSMS

Regression	3	58294,4757	19431,4919
Residual	7	67,9303	9,7043

Total 1058362,40605836,2406

Corrected for the mean of the observations:

	DF	SS	MS	F	P
Regression	2	3602,5345	1801,2673	185,6148	<0,0001
Residual	7	67,9303	9,7043		
Total	93670,4648	407,8294			

Применяя методы математически-компьютерное моделирования можно определить роль и место сухопутного транспорта на сравнение с автомобильным и железнодорожным транспортом местного значения по республике.

На рисунке 2 приведены зависимость объема перевозки грузов сухопутным транспортом за

период 2010 по 2019 годы на сравнение со автомобильным и железнодорожным транспортом республики Таджикистан. Для расчетов и определения изменение показателей здесь также применена методы математически-компьютерного моделирования и программа Sigma Plot.

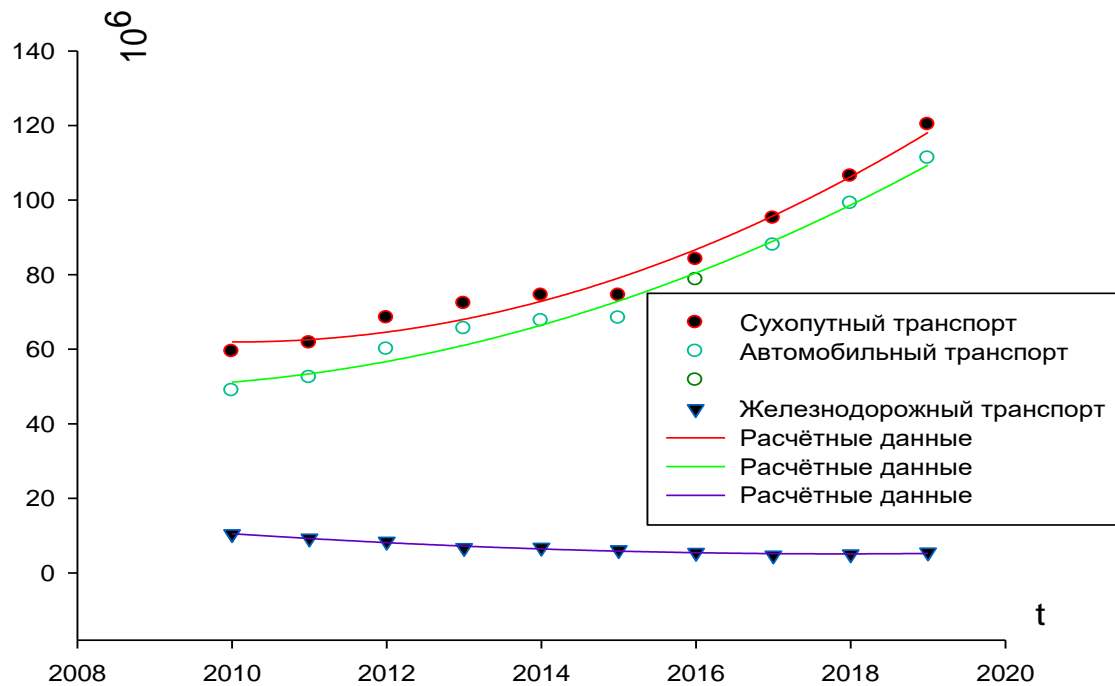


Рисунок 2 - Изменение объема перевозки грузов сухопутным транспортом за период 2010 – 2019 гг.

Выводы.

Таким образом, применяя математическо-компьютерное моделирование можно определить перспективы развития транспорта в республике Таджикистан. Моделирование транспортных оборотов республики позволяет планировать необходимых материалов для нужд транспорта республики. Сухопутный транспорт, а именно автомобильный транспорт в Республике Таджикистан среди других видов транспорта первенствует, как по объему перевозок, так и по пассажиро- и грузообороту и доля его составляет более 91 % от общего объема перевозок.

Географические условия Республики, который имеет широкий спектр природных условий – от песчанно-пустынистых равнин до высокогорных экосистем, затрудняют строительство железных дорог, аэродромов и других транспортных сооружений.

В этих условиях, строительство автомобильных дорог обходится дешевле и обеспечивает пропуск необходимых грузов и пассажиропотоков.

Список литературы:

1. Gelrud Ya.D., Ugrumov E.A., Rybak V.L. Elaboration of Economic and Mathematical Model Competitiveness. Management of a Construction Enterprise. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 157–164. DOI: 10.14529/ctcr180317/
2. Filippova A.S. Economic-mathematical modeling of a multi-criteria optimization management problem of a retail unit of a commercial bank // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика» = Perm University Herald. Economy.

2019. Том 14. № 1. С. 93–109. doi: 10.17072/1994-9960-2019-1-93-109

3. Альбрехт Э.Г. О динамических моделях макроэкономики. Информационные технологии в экономике: теория, модели и методы: сб. науч. тр. Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2005. 254 с.

4. Žarko Popović. Basic mathematical models in economic-ecological control. Facta universitatis. Series: Economics and Organization Vol. 5, No 3, 2008, pp. 251 – 262.

5. Gelrud Ya.D., Ugrumov E.A., Rybak V.L. Elaboration of Economic and Mathematical Model Competitiveness Management of a Construction Enterprise. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics, 2018, vol. 18, no. 3, pp. 157–164. DOI: 10.14529/ctcr180317

6. Акрамов М.Б., Нурализода А. О возможностях моделирования неустойчивых экономических систем с применением аналитической программы «Sigma plot». Вестник ТНУ №1/10 (219), Душанбе, Сино 2016 стр. 223-230;

7. Акрамов М.Б. Компьютерное моделирование исследования акустических свойств растворов полистирола в разных растворителях. Вестник Финансово-экономического института Таджикистана. №3 (11) 2017. С 130-136.

8. Акрамов М.Б.. Моделирование неустойчивых экономических систем с применением термодинамических понятий и компьютерных программ. Вестник Финансово-экономического института Таджикистана. №3 (7). Душанбе – 2016. С. 138-143.

9. Статистический ежегодник Республики Таджикистан – 2020, (официальное издание) Издатель: Агентство по статистике при Президенте

Республики Таджикистан. Душанбе -2020. С. 325 - 331.

10.М.Б. Акрамов. Влияния металлических примесей на теплофизические свойства Al. X international correspondence scientific specialized conference «International scientific review of the problems of natural sciences and medicine» (Boston. USA. April 2-3, 2019) PP. 16-26.

11.М.Б. Акрамов, Ф. Мирзоев, З Низомов. Применение современных технологий и

инновационных методов исследования в научно-исследовательских работах. Вестник кыргызского экономического университета имени М.Рыскулбекова 2 (29) 2014 г. Бишкек -2014 с 50-53.

12.М.Б. Акрамов. Температурная зависимость теплофизических свойств алюминия марки А 5. Доклады АН Р Таджикистан. 2014 г. №2, том 57. С 140-144.

SWARM INTELLIGENCE

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.77.998

¹G.B. Issayeva, ¹M.S. Ibraev, ²A.K. Koishybekova, ³B.R. Absatarova, ¹A.A. Aitkazina, ¹Sh.P. Zhumagulova, ¹N. Vodolazkina, ¹Z.M. Ibraeva

<https://orcid.org/0000-0002-4860-3797>

¹AUPET University, Almaty

²Zhetysu State University named by I. Zhansugurov, Taldykorgan

³KazRDICE University, Almaty

АҚЫЛДЫ ИНТЕЛЛЕКТ

¹Г.Б. Исаева, ¹М.С. Ибраев, ²А.К. Қойшыбекова, ³Б.Р. Абсатарова, ¹А.А. Айтқазина, ¹Ш.П. Жұмағұлова, ¹Н. Водолазкина, ¹З.М. Ибраева

¹АЭЖБУ университеті, Алматы

²Жансүгіров атындағы Жетісу мемлекеттік университеті, Талдықорған

³ҚазҚСҒЗИ университеті, Алматы

ИНТЕЛЛЕКТ РОЯ

¹Г.Б. Исаева, ¹М.С. Ибраев, ²А.К. Қойшыбекова, ³Б.Р. Абсатарова, ¹А.А. Айтқазина, ¹Ш.П. Жұмағұлова, ¹Н. Водолазкина, ¹З.М. Ибраева

¹Университет АУЭС, Алматы

²Жетісуский Государственный Университет имени И. Жансугурова, Талдықорған

³Университет КазНИИАС, Алматы

ANNOTATION

This report investigates this discipline that deals with natural and artificial systems. In the past few years there has been a lot of research on the application of swarm intelligence. A large number of algorithms have been used in different spheres of our life. In this paper we give an overview of this research area. We identify one of the algorithms of swarm intelligence systems and we show how it is used to solve problems. In other words, we present Bee Algorithms, a general framework in which most swarm intelligence algorithms can be placed. After that, we give an extensive solution of existing problem, discussing algorithm's advantages and disadvantages. We conclude with an overview of future research directions that we consider important for the further development of this field.

АННОТАЦИЯ

Бұл есеп табиғи және жасанды жүйелерге қатысты осы пәнді зерттейді. Соңғы бірнеше жыл ішінде интеллектті қолдану бойынша көптеген зерттеулер жүргізілді. Көптеген алгоритмдер біздің өміріміздің әртүрлі салаларында қолданылды. Осы жұмыста біз осы зерттеу саласына шолу жасаймыз. Біз қаруланған интеллект жүйелерінің алгоритмдерінің бірін анықтаймыз және оның есептерді шығару үшін қалай қолданылатындығын көрсетеміз. Басқаша айтқанда, біз назарларыңызға алгоритмдердің көпшілігін орналастыруға болатын жалпы шеңбер Бее алгоритмдерін ұсынамыз. Осыдан кейін біз алгоритмнің артықшылықтары мен кемшіліктерін талқылай отырып, бар мәселенің кең шешімін табамыз. Біз осы саланы одан әрі дамыту үшін маңызды деп санайтын болашақ зерттеу бағыттарын шолумен аяқтаймыз.

АННОТАЦИЯ

Этот отчет исследует эту дисциплину, которая имеет дело с естественными и искусственными системами. В последние несколько лет было проведено много исследований по применению разведки роя. Большое количество алгоритмов было использовано в разных сферах нашей жизни. В этой статье мы даем обзор этой области исследований. Мы определяем один из алгоритмов систем разведки роя и показываем, как он используется для решения проблем. Другими словами, мы представляем Bee Algorithms, общую структуру, в которую можно поместить большинство алгоритмов разведки роя. После этого мы подробно рассмотрим существующую проблему, обсудим достоинства и недостатки алгоритма. Мы завершаем обзор будущих направлений исследований, которые мы считаем важными для дальнейшего развития этой области.

Key words: swarm, contact, intelligence, source, natural, artificial, system, algorithm, research area, investigation, problem, solution, etc.

Түйінді сөздер: сілкініс, байланыс, ақыл, дереккөз, табиғи, жасанды, жүйе, алгоритм, зерттеу аймағы, тергеу, мәселе, шешім және т.б.

Ключевые слова: рой, контакт, интеллект, источник, естественное, искусственное, система, алгоритм, область исследования, исследование, проблема, решение и т.д.

A swarm is a large number of homogenous, simple agents interacting locally among themselves, and their environment, with no central control to allow a global interesting behavior to emerge. Swarm-based algorithms have recently emerged as a family of nature-inspired, population-based algorithms that are capable of producing low cost, fast, and robust solutions to several complex problems. Swarm Intelligence (SI) can therefore be defined as a relatively new branch of Artificial Intelligence that is used to model the collective behavior of social swarms in nature, such as ant colonies, honey bees, and bird flocks. Although these agents (insects or swarm individuals) are relatively unsophisticated with limited capabilities on their own, they are interacting together with certain behavioral patterns to cooperatively achieve tasks necessary for their survival. The social interactions among swarm individuals can be either direct or indirect. Examples of direct interaction are through visual or audio contact, such as the waggle dance of honey bees. Indirect interaction occurs when one individual changes the environment and the other individuals respond to the new environment, such as the pheromone trails of ants that they deposit on their way to search for food sources. More specifically, this paper discusses one of the most popular models of swarm intelligence inspired by bees' behavior.

In the past decades, biologists and natural scientists have been studying the behaviors of social insects because of the amazing efficiency of these natural swarm systems. In the late-80s, computer scientists proposed the scientific insights of these natural swarm systems to the field of Artificial Intelligence. In 1989, the expression "Swarm Intelligence" was first introduced by G. Beni and J. Wang in the global optimization framework as a set of algorithms for controlling robotic swarm. In 2005, Artificial Bee Colony Algorithm was proposed by D. Karabago as a new member of the family of swarm intelligence algorithms.

Since the computational modeling of swarms was proposed, there has been a steady increase in the number of research papers reporting the successful application of Swarm Intelligence algorithm in several optimization tasks and research problems.

The remainder of this paper is organized as follows: The next section presents an overview of natural swarm system (Bees). Then, the last section summarizes the advantages and limitations of swarm intelligence and provides some concluding remarks on the paper and open questions of the field.

Swarm intelligence is the discipline that deals with natural and artificial systems composed of many individuals that coordinate using decentralized control and self-organization. In particular, the discipline focuses on the collective behaviors that result from the local interactions of the individuals with each other and with their environment. Swarm intelligence models are referred to as computational models inspired by natural swarm systems. To date, several swarm intelligence models based on different natural swarm systems have been proposed in the literature, and successfully applied in many real-life applications. Examples of swarm intelligence models are: Ant Colony Optimization, Particle Swarm Optimization, Artificial Bee Colony, Bacterial Foraging, Cat Swarm Optimization, Artificial Immune System, and Glowworm Swarm Optimization. In this paper, we will primarily focus on one of the most popular swarm intelligences models, namely, Bee Colony.

The Bees Algorithm is inspired by the foraging behavior of honey bees. Honey bees collect nectar from vast areas around their hive (more than 10 kilometers). Bee Colonies have been observed to send bees to collect nectar from flower patches relative to the amount of food available at each patch. Bees communicate with each other at the hive via a waggle dance that informs other bees in the hive as to the direction, distance, and quality rating of food sources. The information processing objective of the algorithm is to locate and explore good sites within a problem search space. Scouts are sent out to randomly sample the problem space and locate good sites. The good sites are exploited via the application of a local search, where a small number of good sites are explored more than the others. Good sites are continually exploited, although many scouts are sent out each iteration always in search of additional good sites, the process is repeated.



Process Bee colony algorithm

Step 1: Assign control parameters

Step 2: Initialize solutions

Step 3: Repeat until stopping criteria is met

- Send the employed bee and calculate fitness
- Send the onlookers and calculate fitness
- Send the scout bees
- Memorize the best solution

Step 4: Stop condition

Using Bee algorithm we can find a global maximum of function.

Let consider one function $f(x, y) = -(x^2 + y^2)$.

The sign “-“ is placed because of the function has a global maximum, not minimum. Global and single maximum of this function is in the point (0;0), where $f(0, 0) = 0$.

Necessary parameters:

The number of bees scouts: 10

The number of bees that are sent to the best sites:

5

The number of bees that are sent to other selected areas: 2

The number of the best sites: 2

The number of selected areas: 3

The size of each section: 10

Let the scouts were the following, portions (list sorted in descending order of the objective function):

$$f(15, 18) = -549$$

$$f(-30, -15) = -1125$$

$$f(22, -31) = -1445$$

$$f(18, 40) = -1924$$

$$f(-25, 47) = -2834$$

$$f(60, 86) = -10996$$

$$f(-91, -99) = -18082$$

$$f(17, -136) = -18785$$

$$f(-152, -1) = -22501$$

$$f(-222, 157) = -73933$$

First, the best points will be chosen:

$$f(15, 18) = -549$$

$$f(-30, -15) = -1125$$

Then, other 3 points of the perspective areas will be chosen:

$$f(22, -31) = -1445$$

$$f(18, 40) = -1924$$

$$f(-25, 47) = -2834$$

In the neighborhood of the best points will be sent by 5 bees:

For the first best point coordinate value, which is limited to the site will be:

$$[15 - 10 = 5; 15 + 10 = 25] \text{ for the first coordinate}$$

$$[18 - 10 = 8; 18 + 10 = 28] \text{ for the second coordinate}$$

And for the second point:

$$[-30 - 10 = -40; -30 + 10 = -20] \text{ for the first coordinate}$$

$$[-15 - 10 = -25; -15 + 10 = -5] \text{ To the second position}$$

Similarly, the intervals are calculated for selected areas:

$$[12; 32] [-41; -21]$$

$$[8; 28] [30; 50]$$

$$[-35; 15] [37; 57]$$

Note that here for each of the coordinates the size of the area is 20, but in reality it is not necessarily so.

In each of the top five points we sent our bees. And also to selected areas on two bees. And, we will not change the position of the bees who have found the best and selected areas, otherwise there is the likelihood that the next iteration of the maximum value of the objective function will be worse than in the previous step.

Now suppose that in the first section, we have the best following bees:

$$f(15, 18) = -549$$

$$f(7, 12) = 193$$

$$f(10, 10) = 100$$

$$f(16, 24) = 832$$

$$f(18, 24) = 900$$

As you can see, among these new points, there are some that are better than the previous solution.

So the same actions with the second section, and then similarly with the selected area. Then among all the new points again, marked the best candidates, and the process repeats.

Here you need to pay attention to one feature that may be important in the implementation of the algorithm. A few bees can get to the same area (close to each other, the size of the area, or perhaps the proximity of bees given a separate option). Therefore, there are two variants of behavior:

We believe that these two bees found two different intersecting sections and both of these areas noted as the best or selected.

Also, there is one area whose center is at the point that corresponds to a bee with a large value of the objective function.

In the implementation of which will be described below, a second variant of behavior, as it seemed less prone to jamming in local extremes.

This algorithm is introduced in the real life.

Let consider one example. Assume that there is an accident which connected with a shipwreck. As a consequence, there are lots of people who are in the water. Using the above-mentioned method, we implement such drones instead our bees. These drones randomly direct in order to know the places with the most number of people and send the information to the base. With the received data the rescuers are send firstly to these places most number of people of people. Secondly, to the places with less number of people and so on.

Summary

In conclusion, it can be stated that the swarm intelligence can be used in the number of applications. As we mentioned before, we used bee algorithm in our real life to solve problems and make human life easy. Such as unmanned aerial vehicles (considered in application). Using this information, we will make a program, which shows the possibilities of the bees algorithm.

Literature:

1. I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang. Wireless mesh networks: a survey. *Computer Networks Journal*, 47(4):445–487, 2005.

2. I. F. Akyildiz, S. Weilian, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci. A survey on

sensor networks. *IEEE Communications Magazine*, 40(8):102–116, 2002.

3. R. Asokan, A. Natarajan, and A. Nivetha. A swarm-based distance vector routing to support multiple quality of service metrics in mobile ad hoc networks. *Journal of Computer Science*, 3(9):700–707, 2007.

4. O. Babaoglu, G. Canright, A. Deutsch, G.A. Di Caro, F. Ducatelle, L.M. Gambardella, N. Ganguly, M. Jelasity, R. Montemanni, A. Montresor, and T. Urnes. Design patterns from biology for distributed computing. *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems (TAAS)*, 1(1):26–66, 2006.

5. B. Baran and R. Sosa. A new approach for AntNet routing. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN)*, pages 303–308, Washington, DC, 2000. IEEE Computer Society.

6. J. S. Baras and H. Mehta. A probabilistic emergent routing algorithm for mobile ad hoc networks. *WiOpt03: Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks*, 2003.

7. R. Bellman. *Dynamic Programming*. Princeton University Press, Princeton, NJ, 1957.

8. R. Bellman. On a routing problem. *Quarterly of Applied Mathematics*, 16(1):87–90, 1958.

9. L. Blazevic, L. Buttyan, S. Capkun, S. Giordano, J.-P. Hubaux, and J.-Y. Le Boudec. Self-organization in mobile ad-hoc networks: the approach of terminodes. *IEEE Communications Magazine*, 39(6), 2001.

10. E. Bonabeau, M. Dorigo, and G. Theraulaz. *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, New York, NY, 1999.

11. E. Bonabeau, F. Henaux, S. Gu'erin, D. Snyers, P. Kuntz, and G. Theraulaz. Routing in telecommunication networks with "smart" ant-like agents. In *Proceedings of IATA'98, Second Int. Workshop on Intelligent Agents for Telecommunication Applications*, volume 1437 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages 60–71, Berlin, Germany, 1998. Springer.

12. J.A. Boyan and M.L. Littman. Packet routing in dynamically changing networks: a reinforcement learning approach. In *Advances in Neural Information Processing Systems 6 (NIPS6)*, pages 671–678, San Francisco, CA, 1994. Morgan Kaufmann.

13. R. Braden, D. Clark, and S. Shenker. Integrated services in the internet architecture: an overview. *RFC 1633 (Informational)*, 1994.

14. J. Broch, D. A. Maltz, D. B. Johnson, Y.-C. Hu, and J. Jetcheva. A performance comparison of multi-hop wireless ad hoc network routing protocols. In *Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, pages 85–97, New York, NY, 1998. ACM.

15. D. C'amara and A.A.F. Loureiro. GPS/ANT-like routing in ad hoc networks. *Telecommunication Systems*, 18(1–3):85–100, 2001.

16. T. Camilo, C. Carreto, J. S'a Silva, and F. Boavida. An energy-efficient ant-based routing

algorithm for wireless sensor networks. In Proceedings Swarm intelligence for routing in telecommunications networks 27 of the 5th International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence (ANTS), volume 4150 of Lecture Notes in Computer Science, pages 49–59, Berlin, Germany, 2006. Springer.

17. G. Canright. Ants and loops. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Ant Algorithms (ANTS), volume 2463 of Lecture Notes in Computer Science, pages 235–242, Berlin, Germany, 2002. Springer.

18. L. Carrillo, C. Guadall, J. L. Marzo, G. Di Caro, F. Ducatelle, and L. M. Gambardella. Differentiated quality of service scheme based on the use of multi-classes of ant-like mobile agents. In CoNEXT'05: Proceedings of the 2005 ACM conference on Emerging network experiment and technology, pages 234–235, New York, NY, 2005. ACM.

19. L. Carrillo, J.L. Marzo, D. Harle, and P. Vila. A review of scalability and its application in the evaluation of the scalability measure of AntNet routing. In Proceedings of the IASTED Conference on Communication Systems and Networks (CSN), pages 317–323, Calgary, Canada, 2003. ACTA Press.

20. N. Cauvery and K. Viswanatha. Enhanced ant colony based algorithm for routing in mobile ad hoc network. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology, 36:30–35, 2008.

21. I. D. Chakeres and C. E. Perkins. Dynamic MANET on-demand routing protocol. Internet Draft,

2008.

Information about authors:

Issayeva G., Candidate of Pedagogical Sciences, AUPET University, Almaty city,

Ibraev M., Candidate of Technical Sciences, AUPET University, Almaty city

Koishybekova A., Master of Technical Sciences, Zhetysu State University named by I. Zhansugurov, Taldykorgan

Absatarova B., Master of Technical Sciences, AUPET University, Almaty city

Aitkazina A., Master of Technical Sciences, AUPET University, Almaty city

Zhumagulova Sh., Master of Technical Sciences, AUPET University, Almaty city

Vodolazkina N., Master of Technical Sciences, AUPET University, Almaty city

Ibraeva Z., Master of Technical Sciences, AUPET University, Almaty city



УДК 622.271
ГРНТИ 52.45.93

СТРУКТУРНЫЕ СВЯЗИ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ АССИМЕТРИЧНЫХ ТИПОВ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.77.999

Курманкожаев Азимхан

Доктор технических наук, профессор,

Казахский национальный исследовательский технический университет,

Казахстан, г. Алматы

Есбергенова Эльмира Сейлбековна

Магистр технических наук,

Казахский национальный исследовательский технический университет,

Казахстан, г. Алматы

UDC 622.271
State rubricator of scientific and technical information 52.45.93

STRUCTURAL CONNECTIONS AND INTERCHANGEABILITY OF ASYMMETRIC TYPES OF THEORETICAL DISTRIBUTIONS

Kurmankozhayev Azimkhan

Doctor of technical sciences, professor,

Kazakh national research technical university,

Kazakhstan, Almaty city

Yesbergenova Elmira Seilbekovna

Master of technical sciences,

Kazakh national research technical university,

Kazakhstan, Almaty city,

АННОТАЦИЯ

Изложены результаты оценки структурной связи, тождественности и взаимозаменяемости основных асимметричных типов теоретических распределений, наиболее часто приемлемых для оценки распределений различных показателей в геологии и технике. Использован метод эмпирического анализа и статистических выводов с привлечением непараметрических фактов по закономерностям распределений. Выполнен анализ эмпирических результатов применения логнормального гамма- и распределения Вейбулла с привлечением обширных статистических данных из литературных и исследовательских источников. Раскрыты характерные особенности и статистические закономерности распределений присущих к ним, получены оценочные статистические выводы, по которым выявлены структурные связи между функциями логнормального, гамма- и распределения Вейбулла. Установлены тождественность и идентичность развития вероятностных частот при их применении, обобщен комплексированный геометрический «образ» асимметричности, свойственной к этим типам распределений. Структурные связи и взаимозаменяемость асимметричных типов распределений рекомендованы для повышения надежности и достоверности оценочного выбора распределения в условиях неопределенности и незначительности статистических данных при решении задач, связанных прогнозами, технологическими и компьютерными разработками.

ANNOTATION

Presented the results of evaluation of structural connection, identity and interchangeability of main asymmetric types of theoretical distributions most often acceptable for assessing the distributions of various indicators in geology and technology. The method of empirical analysis and statistical inference was used with the involvement of nonparametric facts according to the distribution patterns. The analysis of the empirical results of the application of the lognormal, gamma distribution and the Weibull distribution with the involvement of extensive statistical data from literary and research sources is carried out. The characteristic features and statistical regularities of distributions inherent to them are revealed, estimated statistical conclusions are obtained, according to which structural relationships between the functions of the lognormal, gamma and Weibull distributions are revealed. The identity and authenticity of the development of probabilistic frequencies in their application have been established, the complex geometric "image" of asymmetry inherent to these types of distributions is generalized. Structural relationships and interchangeability of asymmetric types of distributions are recommended to increase the reliability and credibility of the estimated choice of distribution in conditions of uncertainty and insignificance of statistical data when solving problems associated with forecasts, technological and computer developments.

Ключевые слова: Тождественность, взаимозаменяемость, структурные связи, частоты, асимметричность, распределение, геопризнаки, технические величины, интенсивность, статистические выводы, ошибки.

Key words: Identity, interchangeability, structural connections, frequencies, asymmetry, distribution, geoinicators, technical, technical quantities, intensity, failures, statistical inferences, errors.

В горногеологических разработках почти всегда используются статистическое распределение изучаемого показателя. Однако выбор его конкретного вида часто сопровождается скрытыми и грубыми ошибками, соответственно и значительными последствиями. Проблема оценки распределений геопризнаков и технических переменных широко изучена и освещены в литературных источниках, но недостаточно изучены структурные связи и взаимозаменяемость асимметричных типов теоретических распределений.

Для исследования этой проблемной задачи использован метод эмпирического анализа и статистических выводов с привлечением результатов оценки распределений геопризнаков и технических переменных с применением основных асимметричных типов теоретических вероятностных законов для которых использованы данные из литературных и исследовательских источников [1-4]. В статье приведены результаты исследования структурной связи и тождественности структурных параметров логнормального, гамма- и распределения Вейбулла, наиболее часто применяемые при оценке эмпирических распределений

геологических признаков и технических величин. Изучены условия их формирования с учетом свойственных к ним закономерностей развития вероятностных частот. В основу определения статистических закономерностей и выводов положены обобщенные композиционные инвариантные формы развития вероятностных частот по этим основным асимметричным распределениям. Закономерности формообразования вероятностных частот присущих к ним использованы как тождественные и взаимосвязанные непараметрические факты, отражающих основ обобщенной композиционной асимметричной формы распределения.

Из аналитического изучения распределений разнообразным геопризнаков различных полезных ископаемых [1,2] вытекают, что характерные особенности присущих к ним сводится к следующим:

Зависимость уровня асимметрии от коэффициентов вариации по различным теоретическим распределениям прямопропорциональная и выражается идентичными кривыми; Логнормальному, Вейбулла и гамма-распределениям присущи общая идентичная правоасимметричность

гиперболического характера развития частот, которая изменяется в зависимости от коэффициента вариации; при определенных значениях коэффициента вариации переменного эти распределения имеют близкую сходимость; однако несмотря на ряд попыток, направленных на установление связи параметров распределения с характеристикой изменчивости, эта проблемная задача остается нерешенной.

Тождественность, идентичность и взаимосвязанность логнормального, гамма- и Вейбулла распределений установлены по результатам оценки их функциональных (логарифмических) распределений, аксиоматических свойств характеристических (производящих) функций, взаимозаменяемости их при оценке эмпирических распределений содержаний компонентов различных руд, горной массы и частиц пыли.

Идентичность описываемых ими различных процессов показателей накопления, усталостных повреждений и интенсивности отказов работы механизмов, интервалов времени между событиями, изучена с учетом сходимости их в конкретных значениях коэффициента вариации к симметричным распределениям; получена эмпирическое подтверждение тесной сходимости их функциональных распределений, идентичности форм и свойств их моделирующих и характеристических функции и энтропии. Тождественность их параметров, выведены исходя из обобщенного дифференциального уравнения линейной динамической модели, рассматриваемой, как общая функция плотности распределения.

Для определения инвариантных форм развития вероятностных частот геопризнаков использованы результаты обобщенных непараметрических фактов, выявленных путем установления отдельных инвариантных форм развития вероятностей по логнормальному, показательному, гамма- и распределению Вейбулла. Используются результаты анализа эмпирических распределений различных признаков по месторождениям черных, цветных и редких металлов с привлечением литературных и отчетных источников, по которым установлены характерные особенности и закономерности присущих к их распределениям [1, 2]. В результате выявлены ключевые статистические закономерности свойственных к распределениям геологических признаков:

- геологические признаки, часто полиметаллических месторождений и показателей их отработки в основном описываются асимметричными распределениями, асимметрия чаще правая, очень реже левая (для бедных руд); асимметричные распределения часто описываются логнормальным распределением, и реже гамма-распределением и распределением Вейбулла;

- распределения содержаний компонентов руд черных металлов и в массиве и добытой массе, выходы товарных и сырых руд, показатели их себестоимости близки к симметричным

колоколообразным и может быть частично описаны распределением Вейбулла и Вероятностно-структурным распределением; при добыче происходит трансформация асимметричных распределений, которые и приводят к уменьшению величин асимметрии и эксцесса; трансформация также происходит за счет процессов усреднительной стабилизации качества руд при добыче;

- распределения геологических признаков часто редкометалльных и золоторудных месторождений в основном описываются крайне-асимметричными показательными распределениями; эти распределения часто описываются распределением Вейбулла и гамма-распределением;

- Логнормальное, Вейбулла и гамма-распределения одновременно удовлетворительно описывают распределений кусков горной породы и частиц пыли по размерам при различных способах разрушения и дробления горных пород.

Структурные связи присущих к рассматриваемым распределениям изучены исходя их приемлемости в области теории надежности. Аналитический вывод о структурной тождественности асимметричных типов распределений получен исходя из условий процессов накопления идентичных повреждений при работе механизмов с учетом процесса перехода из одного состояния в другое [3, 4]. Рассмотрим систему, в которой с течением времени происходит накопление i единичных повреждений к моменту времени T , и которая имеет состояние E_i . Вероятность перехода $E_k \rightarrow E_{k+1}$, за время ΔT вычисляется по формуле: $\delta(T) = \lambda \Delta T + 0(\Delta T)$. Состояние системы характеризуется функциями $\{P_k(T), k = 0, 1, \dots\}$, тогда P_k – вероятность того, что к моменту T система находится в состоянии E_k , будет определяться по формуле:

$$P_k(T) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T}, k > 0 \quad (1)$$

Вероятность того, что время безотказной работы τ не меньше, чем T (т.е. $P\{\tau > T = \sum_{k=0}^{\infty} P_k(T)\}$) при $\tau \ll T$ равна:

$$P_k\{\tau \leq T = 1 - \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T} \quad (2)$$

Полученная формула есть не что иное, как функция гамма-распределения.

Вывод формулы распределения Вейбулла осуществляется из соотношения $P_k(T) = \frac{(\lambda T)^k}{k!} e^{-\lambda T}$ при условии, что число элементов цепной системы K велико. Установлено, что все функции распределения $F_i(t)$ таковы, что при $T \rightarrow 0$ имеет место равенство: $F_i(t) = qT^\delta + 0(T^\delta)$, где $q > 0$ и $\delta > 0$. Это соотношение определяет порядок роста $F(t)$ при малых значениях T . При больших K функция распределения хорошо аппроксимируется выражением вида ($\beta = 1/q^k$):

$$F(T) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{T\delta}{\beta}}, & \text{если } T \geq 0 \\ 0, & \text{если } T < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Это есть функция распределения Вейбулла.

Вывод логнормального распределения можно получить из вывода гамма- распределения. В этом

$$P\left\{\tau \leq T = G(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\infty}^{aln(1+T)} e^{-\frac{(u-c)^2}{2\sigma^2}} = \Phi\left[\frac{aln(1+T)-a}{\sigma}\right] \right. \quad (4)$$

Отсюда плотность логнормального распределения:

$$q(T) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{[Taln(1+T)-c]^2}{2\sigma^2}} \cdot \frac{a}{1+T}, & \text{если } T \geq -1; \\ 0, & \text{если } T < -1 \end{cases} \quad (5)$$

При $1+T=T$ и $a=1$ получим общую формулу функции плотности логнормального распределения ($T \geq 0, T < 0$).

Логнормальное, Вейбулла и гамма-распределения переплетаются и становятся взаимозаменяемыми при оценке эмпирического распределения показателя интенсивности отказов механизмов во время их работы. Этот показатель является важным параметром в теории надежности машин [2, 3]. Различные проявления интенсивности отказов описываются разными функциями $\lambda(t)$ ($T \geq 0$) и им соответствуют обобщенная модель распределения времени безотказной работы механизма:

$$F(T) = 1 - \exp\left(-\int_0^T \lambda(t) dt\right) \quad (6)$$

Функция интенсивности отказов может принимать различные значения и соответственно характеризовать периоды: переработки, нормальной эксплуатации и старения.

Рассмотрим частные случаи [3]:

При $\lambda(t) = \text{const}$, имеем:

$$F(T) = 1 - e^{\int_0^T \lambda dt} \approx 1 - e^{\lambda T}.$$

Полученная функция показательного распределения;

$$\text{При } \lambda(t) = \frac{\lambda^r T^{r-1}}{(r-1)! + \frac{(r-1)^2}{1!} \lambda T + \dots + (\lambda T)^{r-1}}$$

из решения получаем гамма- распределение. При увеличении T монотонно растет значение $\lambda(t)$.

При $r \rightarrow \infty$ последнее выражение асимметрически дает нормальное распределение. В этом случае, в отличие от гамма- распределения, $\lambda(t) \rightarrow \infty$ при $T \rightarrow \infty$.

$$\varphi(t) = \begin{cases} \frac{1}{r(r)} \lambda^2 a^2 [\ln(1+T)]^{r-1} e^{-\lambda a \ln(1+T)} \frac{1}{1+T}, & \text{если } T \geq 0 \\ 0, & \text{если } T < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Вывод логарифмического распределения Вейбулла вытекает как следствие из логарифмического гамма- распределения, из соотношения

случае способ вывода гамма- распределения допускает, что случайная величина имеет плотность нормального распределения. Средняя скорость износа механизма - $M\{\xi(t)\} = \frac{a}{1+t}, a > 0$. Аналогично способа вывода гамма- распределения получим:

При $\lambda(t) = \delta \frac{t^{\delta-1}}{\beta}$, получим распределение Вейбулла.

По схеме накапливающихся повреждений, если вероятность единичного повреждения задана в виде $\lambda(T) = \frac{\lambda}{1+T} \Delta_T + 0(\Delta_T)$, получим логнормальное распределение $\lambda(T) = \frac{(ln t - a)^2}{\sqrt{8\pi\sigma^3}} / \left[1 - \Phi\left(\frac{ln t - a}{\sigma}\right)\right]$.

Логнормальное, распределение Вейбулла и гамма- распределения можно также оценить путем определения их функциональных логарифмических функции распределений значений логарифмов переменных. Тесная связь и идентичность этих распределений по существу и форме кривых изменений вероятностей установлена по исследованиям безотказной работы и усталостной долговечности механизмов и машин. Вывод логарифмического (функционального) гамма-распределения осуществляется как и вывод самой формулы гамма- распределения, предположив, что за время $T + \Delta_T$ система, получив единичное повреждение с вероятностью $\delta(T)$ и накопив ϕ повреждений, будет иметь отказ [3]. Вероятность единичного повреждения равна:

$$\delta(T) = \frac{a\lambda}{1+T} \Delta_T + 0(\Delta_T). \text{ После ряда преобразований}$$

получим: $P_k(T) = \frac{[a\lambda \ln(1+T)]^{k-1} e^{-a\lambda \ln(1+T)}}{k!}$, $k \geq 0$.
Здесь вместо λT принято $\int_0^T \frac{a\lambda}{1+t} = a\lambda \ln(1+T)$, отсюда будем иметь: $F\{T \leq T\} = 1 - \sum_{k=0}^T P_k(T)$. Логарифмическое гамма- распределение получается с помощью введения переменной монотонной функции $u=u(t)$ в соответствии из Ц(t). Используя свойство монотонности функции получим плотность логарифмического гамма-распределения:

$$F_i(T) = u^\delta(T) + 0[u^\delta(T)] \quad (8)$$

где $\lim_{T \rightarrow 0} u(T) = 0$ при $T \rightarrow 0$, $F_i(T)$ – логарифмическое гамма- распределение.

Математическое ожидание скорости износа задается равенством:

$$M\{\xi(t)\} = \frac{1}{1+t}. \quad (9)$$

Тогда согласно формулам логарифмического гамма-распределения, функция $F_i(T)$ времени безотказной работы выразится формулой

$$F_i(T) = \sum_{m=2}^{\infty} \frac{[\lambda \ln(1+T)]^m}{m!} e^{-\lambda \ln(1+T)} \quad (10)$$

При $T \rightarrow 0$, $F_i(T) \approx \frac{[\lambda \ln(1+T)]^r}{r!}$. Тем самым (T) задается равенством: $u(T) = C \ln(1+T)$, а в роли показателя степени δ выступает r . Тогда доказано, что если δ велико, то функция распределения времени безотказной работы цепной системы хорошо аппроксимируется выражением вида:

$$F(T) = \begin{cases} 1 - e^{-\frac{[\ln(1+T)]^\delta}{\beta}}, & \text{если } T \geq 0, \\ 0, & \text{если } T < 0 \end{cases}, \quad (11)$$

которое является функцией логарифмического распределения Вейбулла.

Таким образом, доказана тождественность, идентичность и взаимосвязанность в определенных условиях этих трех распределений.

Тождественность логарифмического, гамма- и распределения Вейбулла вытекает также из свойства их сходимости с нормальными распределениями [1,2,4]. Установлено, что кривая логарифмического нормального распределения при малом значении стандарта σ становится близкой к нормальной [4]. Логнормальное распределение, как непосредственное преобразование нормального, есть распределение случайной величины, логарифм которой распределен нормально. При значениях вариации около 30% ($m > 3$) распределение Вейбулла по форме кривой плотности совпадает с нормальным распределением. Гамма-распределение, как обобщенная форма λ^2 -распределения, является композиционным распределением независимых случайных величин, имеющих одно и то же нормальное распределение с параметрами: $a=0$, $\sigma=1$. Гамма-распределение, аналогично логнормальному распределению,

является некоторым преобразованием нормального. Переход от гамма-распределения к нормальному физически обосновывается, если реализация износа длительное время идет переплетаясь друг с другом прежде, чем наступит отказ. Близкая сходимость нормального и гамма-распределений показываются также с помощью выравнивая их на вероятностной бумаге.

Приведенные результаты аналитического исследования доказывают наличие тесной структурной связи и взаимозаменяемость логарифмического, Вейбулла и гамма-распределений, которые имеют устойчивость генетичнообразный характер.

Выводы

Обоснован статистический вывод о свойственности структурной связи взаимозаменяемости к асимметричным типам теоретических распределений, которые рекомендуются использовать для повышения достоверности и надежности результатов оценки распределений показателей при решении задач прогноза, обоснования технологических и компьютерных разработок.

Свойства тождественности, идентичности, взаимозаменяемости присущих к логнормальному, гамма- и распределений Вейбулла при соответствующей аналитической модификации может быть использованы к устранению риска допустить скрытых и грубых ошибок в условиях неопределенности и незначительности статистических данных экономическое последствие которые бывают огромными.

Список литературы

1. Курманкожаев А. Вероятностные модели распределения полезных ископаемых. Алматы. Аналитический обзор., КазГОСИНТИ, 1995, 112с.
2. Математические модели в науках о Земле (по материалам зарубежной литературы) Кн.: Математические методы исследования в геологии. Вып. 10. Мингеологии СССР, 1981, 35с.
3. Кординский Ж.Б. Приложение теории вероятности в инженерном деле, М., «Наука», 1983, 345 с.
4. Браунли К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике. М.: «Наука», 1977, 239 с.

УДК 629.4.017
ГРНТИ 73.29.17

РАСЧЕТ ТОРМОЗНОГО ПУТИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПРИ ЭКСТРЕННОМ ТОРМОЖЕНИИ

Миронов Дмитрий Олегович

Соискатель,

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)»,

г. Москва, ул. Образцова, д. 9.

АННОТАЦИЯ

Целью исследования является определение эффективности тормозной системы электропоезда через расчет длины его тормозного пути при экстренном торможении. Используются общелогические методы и методы математического моделирования. В результате получены значения длины тормозного пути для отдельных вагонов электропоезда ЭП2Д и для 10-вагонного электропоезда ЭП2Д с типовой тормозной системой с колодочным тормозом и с измененной тормозной системой с дисковым тормозом. Расчеты выполнены для подвижного состава без учета веса пассажиров и переменных пассажиропотоков (учитывалась только тара вагонов). Установлено, что применение дискового тормоза вместо колодочного способствует существенному сокращению длины тормозного пути, в частности, на мотор-вагонном подвижном составе с противоюзной системой благодаря большому коэффициенту трения композиционных тормозных накладок по сравнению с чугунными тормозными колодками.

ABSTRACT

The purpose of the study is to determine the effectiveness of the braking system of an electric train by calculating the length of its braking distance during emergency braking. General logical methods and methods of mathematical modeling are used. As a result, the values of the braking distance for individual cars of the EP2D electric train and for a 10-car EP2D electric train with a standard brake system with a pad brake and a modified brake system with a disc brake are obtained. The calculations were made for rolling stock without taking into account the weight of passengers and variable passenger flows (only the container of cars was taken into account). The use of disc brakes instead of drum greatly reduces the stopping distance, in particular, motor-wagon rolling stock with antiskid system due to the greater coefficient of friction of composite brake lining compared with cast iron brake blocks.

Ключевые слова: электропоезд, экстренное торможение, фрикционный тормоз, длина тормозного пути, дисковый тормоз.

Keywords: electric train, emergency braking, friction brake, brake path length, disc brake.

На скоростных электропоездах применяется автоматический пневматический фрикционный дисковый тормоз, который является резервным и, как правило, используется только для полной остановки электропоезда. В междугородном и пригородном сообщении используются и электропоезда городского типа такие, как ЭП2Д [3], которые часто эксплуатируются в качестве экспрессов. Такие электропоезда имеют автоматический пневматический фрикционный колодочный тормоз, выполненный по стандартной для отечественных электропоездов схеме. На скоростных пассажирских вагонах дисковый тормоз стал уже привычным, типовым, а на отечественном мотор-вагонном подвижном составе, рассчитанном на скорости эксплуатации до 120 км/ч, применяется колодочный тормоз. При экстренном торможении для быстрой остановки транспортного средства одновременно применяются все имеющиеся тормозные системы, для фрикционного тормоза экстренное торможение означает максимально возможное давление сжатого воздуха в тормозных цилиндрах и максимально возможное нажатие тормозных колодок (накладок) на ось, что вызывает повышенный нагрев в парах трения фрикционного тормоза.

Эффективность фрикционного тормоза зависит от множества параметров, которые изменяются во времени нелинейно (нажатие колодок (накладок), коэффициент трения, коэффициент сцепления). Подвижной состав с дисковым тормозом обязательно оснащается противоюзной системой, что предотвращает заклинивание колесных пар и существенное снижение тормозного эффекта.

Известно, что скоростной мотор-вагонный подвижной состав типа ЭС-2Г «Ласточка» [4] имеет по два тормозных диска на колесных парах моторных вагонов (с тяговыми электродвигателями) и по три тормозных диска на колесных парах прицепных вагонов (без тяговых электродвигателей). Однако имеется ограничение по суммарному нажатию тормозных накладок на ось, соответственно, под разными вагонами (моторными и прицепными) максимальные давления сжатого воздуха в тормозных блоках различны.

Также в эксплуатации находятся электропоезда типа ЭГ-2Тв «Иволга» [2], которые имеют по 4 тормозных блока фирмы Knorr-Bremse и по 4 тормозных диска на каждой тележке (по 2 на каждой колесной паре), в отличие от электропоездов типа «Ласточка», у которых разное

количество тормозных блоков и тормозных дисков под вагонами разного типа.

Известна формула для определения тормозного пути поезда по интервалам скорости [1], согласно которой тормозной путь определяется как сумма подготовительного тормозного пути $S_{п}$ и действительного пути торможения $S_{д}$:

$$S_{т} = S_{п} + S_{д}$$

Подготовительный тормозной путь можно определить по формуле:

$$S_{п} = 0,278 \cdot V_{н} \cdot t_{н},$$

где $V_{н}$ – начальная скорость торможения, км/ч;

$t_{н}$ – время подготовки тормозов к действию, с.

Действительный тормозной путь определяется по формуле:

$$S_{д} = \frac{500 \cdot (V_{н}^2 - V_{к}^2)}{\xi \cdot (b_{т} + \omega_{о} + i_{с})},$$

где $V_{к}$ – конечная скорость вагона, км/ч;

ξ – замедление экипажа, км/ч;

$b_{т}$ – удельная тормозная сила, Н/кН;

$\omega_{о}$ – основное удельное сопротивление движению вагона, Н/кН;

$i_{с}$ – удельное ускоряющее усилие на поезд от уклона пути.

Удельная тормозная сила является функцией нажатия тормозных колодок (накладок) и коэффициента трения. Важным условием выбора нажатия тормозных колодок или накладок является недопущение юза. Подвижной состав с дисковым тормозом в обязательном порядке оснащается противоюзной системой в отличие от подвижного состава с колодочным тормозом. При использовании колодочного тормоза возможное нажатие тормозных колодок не используется полностью, т.к. может привести к заклиниванию колесных пар при торможении. Одним из преимуществ дискового тормоза является более эффективное использование нажатия тормозных накладок.

Для примера был выполнен расчет длины тормозного пути отечественного электропоезда ЭП2Д без ограничения нажатия тормозных колодок и с ограничением нажатия из условия недопущения юза. Результаты расчета представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

Таблица 1.

Результаты расчета длины тормозного пути электропоезда ЭП2Д без пассажиров

№ п/п	Тип вагона (поезда)	Длина тормозного пути, м	
		Без учета юза	С учетом юза
1	Головной вагон	388,9	769,3
2	Моторный вагон	455,9	797,2
3	Немоторный вагон	378,8	760,4
4	10-вагонный поезд	421,8	782

Как видно из таблицы 1, при выполнении условия недопущения юза длина тормозного пути значительно увеличивается из-за ограничения нажатия тормозных колодок. Далее был выполнен расчет длины тормозного пути электропоезда

ЭП2Д с пассажирами (по 100 человек в каждом моторном и немоторном вагонах и по 60 человек в каждом головном вагоне), результаты расчета представлены в таблице 2.

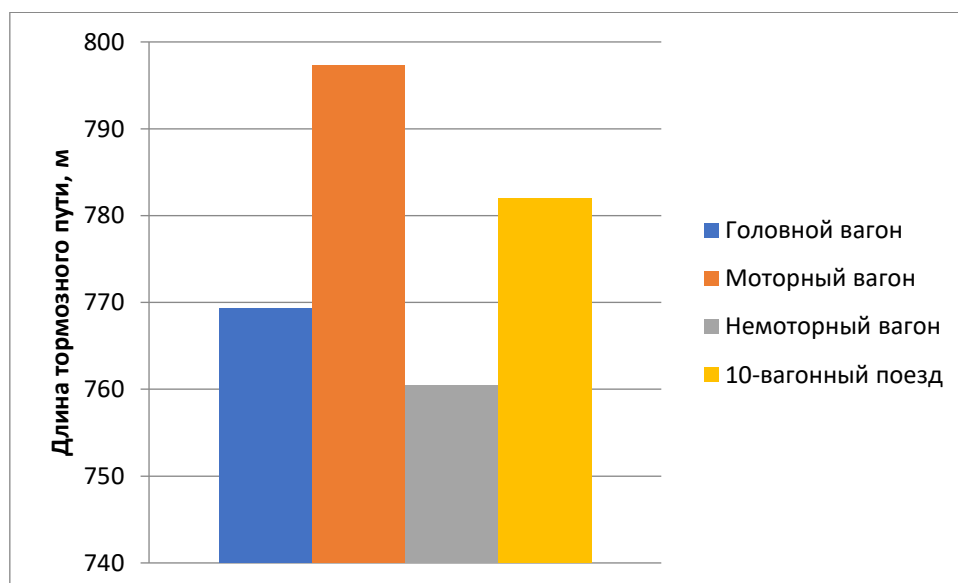


Рисунок 1. Длина тормозного пути электропоезда ЭП2Д без пассажиров

Таблица 2.

Результаты расчета длины тормозного пути электропоезда ЭП2Д с пассажирами

№ п/п	Тип вагона (поезда)	Количество пассажиров	Длина тормозного пути, м
1	Головной вагон	60	850,4
2	Моторный вагон	100	908,5
3	Немоторный вагон	100	907,5
4	10-вагонный поезд	920	896,9

При применении на электропоезде ЭП2Д дискового тормоза с противоюзным устройством можно получить больший тормозной эффект, за счет лучшего использования нажатия тормозных накладок. Применение дискового тормоза с тормозными блоками способствует снижению подготовительного тормозного пути, т.к. объем пневмоцилиндров тормозных блоков гораздо

меньше объема тормозных цилиндров, больше КПД механической части тормоза и быстрее устанавливается максимальное давление сжатого воздуха в них.

Был выполнен расчет длины тормозного пути электропоезда ЭП2Д без пассажиров с дисковым тормозом, результаты расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Результаты расчета длины тормозного пути электропоезда ЭП2Д без пассажиров

№ п/п	Тип вагона (поезда)	Длина тормозного пути, м	
		с колодочным тормозом	с дисковым тормозом
1	Головной вагон	769,3	662,3
2	Моторный вагон	797,2	655,9
3	Немоторный вагон	760,4	622
4	10-вагонный поезд	782	647,8

Из таблицы 3 видно, что дисковый тормоз более эффективен, чем колодочный, т.к. в нем более эффективно используется нажатие тормозных накладок. При увеличении коэффициента сцепления колес с рельсами при экстренном торможении (например, подача песка под колеса) появляется возможность лучшего использования нажатия тормозных блоков, что также приводит к сокращению длины тормозного пути.

ВЫВОДЫ.

Применение в тормозной системе противоюзного устройства способствует лучшему использованию нажатия тормозных колодок (накладок), что способствует уменьшению

тормозного пути. Дисковый тормоз имеет ряд преимуществ перед колодочным. При увеличении веса подвижного состава увеличивается длина тормозного пути.

Список литературы:

- 1 Асадченко В.Р. Расчет пневматических тормозов железнодорожного подвижного состава / Асадченко В.Р. // Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. – М.: Маршрут, 2004. – 120 с.
- 2 <http://www.tvz.ru/catalog/emus/>
- 3 <http://www.dmzavod.ru/products/elektropoezd-postoyannogo-toka-ep2d/>
- 4 <https://ulkm.ru/produkcija/elektropoezd-lastochka/>

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

ВЛИЯНИЕ АДсорбЦИИ КИСЛОРОДА НА ПРОВОДИМОСТЬ ПЛЕНОК РВТЕ.

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.77.1001

Сармасов С.Н.¹*кандидат физико-математических наук, преподаватель;***Рагимов Р.Ш.²***кандидат физико-математических наук, преподаватель, доцент;***Абдуллаев Т.Ш.³***кандидат физико-математических наук;**кафедра общей физики и методики преподавания физики,**Бакинский Государственный Университет,**г Баку, Азербайджанская Республика*

THE EFFECT OF OXYGEN ADSORPTION ON THE CONDUCTIVITY OF PBTE FILMS.

Sarmasov S.N.¹*candidate of physical and mathematical sciences, Lecturer;***Rahimov R.Sh.²***candidate of physics and mathematics, Lecturer, docent;***Abdullayev T.Sh.³***candidate of physical and mathematical,**General physics and teaching methods of physics department,**Baku State University,**Baku, Republic of Azerbaijan*

АННОТАЦИЯ

Исследовано влияние адсорбции кислорода на проводимость пленок РbТе. Получены р-п переходы на основе пленок РbТе фоточувствительные в ИК области спектра с максимумом фоточувствительности λ_{max} мкм. Показан туннельный механизм протекания тока через р-п переход.

ABSTRACT

The effect of oxygen adsorption on the conductivity of PbTe films is studied. Pn junctions based on PbTe films are photosensitive in the IR spectral region with a maximum photosensitivity of λ_{max} microns. The tunneling mechanism of current flow through the pn junction is shown.

С практической точки зрения наибольший интерес представляет нерешенная до настоящего времени задача математического описания влияния давления кислорода на проводимость слоев в случае обеднения слоя носителями на всю толщину, поскольку максимальная газочувствительность поликристаллических слоев наблюдается при условии полного обеднения зерен, когда длина экранирования LD превышает средний размер кристаллита LC в образце [1]. В этом случае теоретический анализ ситуации существенно упрощается, так как процессы переноса носителей заряда в сильно обедненном слое допустимо анализировать в приближении плоских зон, пренебрегая как неоднородностью распределения носителей по объему зерна, так и скачками подвижности на границах зерен [2]. Цель данной работы — изучение влияния адсорбции кислорода на проводимость поликристаллических пленок оксида олова п-типа, средний размер зерна которых меньше величины LD, а также получение выражения, описывающего зависимость концентрации основных носителей заряда в зерне от давления кислорода.

Детальное понимание взаимодиффузии или взаимодействия металлических пленок требуется во многих областях тонкопленочной технологии.

Со времени появления обзора Уивера [3, 4] в 1971 году значительно увеличилось число работ по взаимодиффузии тонких пленок. Это примечательно в первую очередь большим массопереносом при низких температурах, обусловленным не только малыми расстояниями диффузии, но и высокой дефектностью тонких пленок [3].

Особенно интересна связь между структурой поверхности чистого кристалла и природой и энергией образования поверхностных комплексов адсорбент-адсорбат. Грин и Ли [5] изучали кинетику адсорбции кислорода на поверхности (100) кристалла РbТе. Кристалл имеет структуру каменной соли, поверхность (100) состоит из распределенных в шахматном порядке атомов теллура и свинца. Было показано, что мономолекулярная адсорбция протекает до заполнения 0,7, после чего начинается рост окисной пленки, покрытие поверхности определяется как число адсорбированных атомов кислорода, отнесенное к числу атомов поверхности.

Установлено, что из атмосферных газов основную роль в химических процессах на поверхности халькогенидов свинца играет

кислород, адсорбция которого приводит к появлению легированного поверхностного слоя.

Нами выращивались пленки PbTe толщиной ~50 нм на слюдяных подложках (рис.1) со скоростью 0,05-0,25 нм/с. При скорости роста более 0,1 нм/с пленки имели концентрацию носителей близкую к собственной ($n \sim 10^{16} \text{ см}^{-3}$).

Уменьшение скорости роста до величины ниже 0,1 нм/с приводит к получению пленок n-типа проводимости. Регулируя скорость роста, можно получать пленки с концентрацией электронов от 10^{16} до $3 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$. Исследование проводилось в диапазонах давлений: от $7,5 \cdot 10^{-9}$ до $7,5 \cdot 10^{-7}$ мм рт.ст. и от $7,5 \cdot 10^{-3}$ мм рт.ст. до атмосферного.

В начале в систему напускается кислород, а во втором случае туда поступал воздух. Эксперименты показали, что уже при давлении $7,5 \cdot 10^{-9}$ мм рт.ст. происходит некоторое уменьшение концентрации электронов, которая при давлении около $7,5 \cdot 10^{-7}$ мм рт.ст. становится значительной. А при больших давлениях концентрация электронов уменьшается характерно диффузионному процессу [6].

Изготовление активных элементов электронных схем в едином технологическом акте является одной из основных задач микроэлектроники. В нашей работе предпринята попытка получения p-n переходов в эпитаксиальных пленках теллурида свинца при выращивании их методом конденсации молекулярного потока в вакууме $\sim 10^{-6}$ мм рт.ст. без нарушения процесса роста и принудительного введения легирующих примесей.

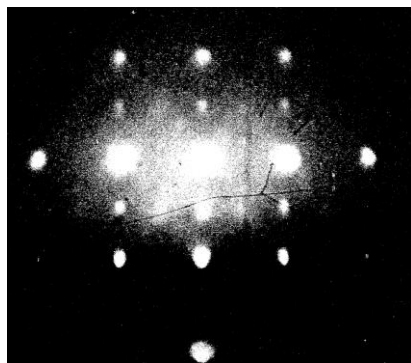


Рис. 1. Электронограмма от пленки PbTe на слюде $v_k=0,2 \text{ нм/с}$; $T_n=1800 \text{ С}$; $d=50 \text{ нм}$.

Площадь p-n переходов составляла величину $\sim (1-3)10^{-3} \text{ см}^2$, дифференциальное сопротивление при нулевом смещении $R_0=10^5 \text{ Ом}$.

Все p-n переходы были фоточувствительны в ИК области спектра. Типичная спектральная характеристика их представлена на рис.3. Максимум фоточувствительности приходится на длину волны λ_{max} мкм с пологим спадом до $\lambda \sim 6 \text{ мкм}$.

Испарение проводили из графитовой кнудсеновской ячейки, в качестве источника использовали измельченный кристалл теллурида свинца n-типа, подложками служили сколы слюды. Температура источника менялась от 900 до 1000 К, температура подложки была постоянной $T_{\text{п}}=598 \text{ К}$. Скорость конденсации v_k задавалась температурой источника. Выращивание проводилось через подвижную маску-заслонку с прорезями, что обеспечивало получение пленки в виде пересекающихся систем полосок шириной $\sim (3-5) \cdot 10^{-2} \text{ см}$. После осаждения одной системы полосок при температуре испарителя T_1 , заслонка перекрывалась и в течение 1-2 мин. устанавливалось новое значение температуры T_2 , а затем осаждалась другая система полосок при той же температуре подложки.

ВАХ измерялись при $T=77 \text{ К}$ на двухкоординатном самописце и на осциллографе. В качестве омических контактов к p-слою использовался сплав In-Au (рис.2).

Выращенные пленки ориентированы гранью (111) параллельно подложке. При $v_k = 0,035 \text{ нм/с}$ пленки имеют дырочную проводимость с концентрацией носителей заряда $p = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu_p = 400 \text{ см}^2/\text{Вс}$. Увеличение v_k до 0,12 нм/с и более приводит к росту пленок с электронной проводимостью с концентрацией носителей $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\mu_n = 10^3 \text{ см}^2/\text{Вс}$. (при 300 К).

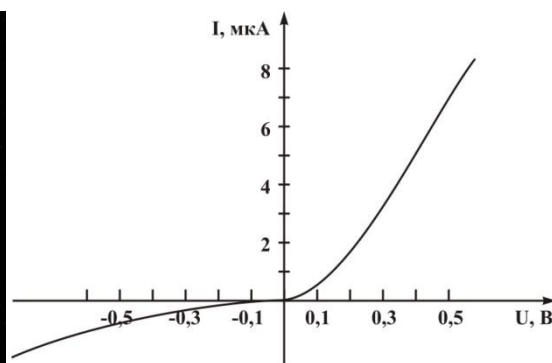


Рис.2. Вольтамперная характеристика p-n перехода на основе пленок PbTe легированных кислородом во время роста.

Изучение прямых ветвей ВАХ в интервале температур 77-120 К показало, что ток, протекающий через p-n переход, состоит из двух частей: при малых смещениях зависимость тока от U экспоненциально с показателем $\beta = 2$, при больших смещениях наклон ВАХ с температурой не меняется. Это, очевидно, связано с туннельным механизмом протекания тока через p-n переход (рис.4).

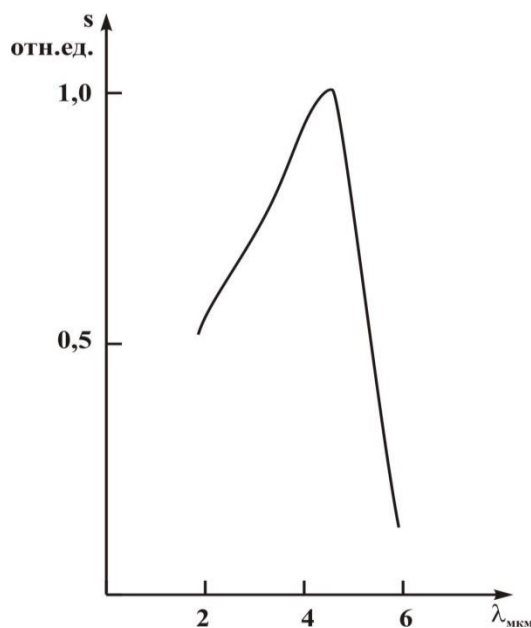


Рис.3. Спектральная фоточувствительность р – n перехода на основе тонких пленок PbTe.

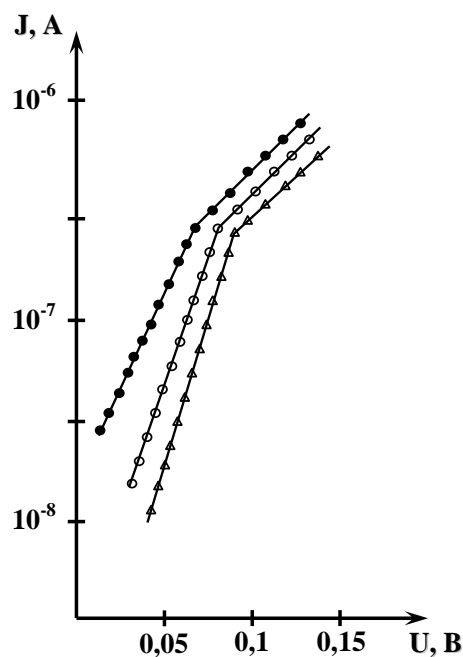


Рис.4. Прямые ветви ВАХ от р-n структур на основе пленок PbTe легированной кислородом во время роста 77 К, 100 К, 120 К

ЛИТЕРАТУРА

1. N. Yamazoe, N. Miura. Chemical Sensor Technology, ed. by S. Yamauchi (Amsterdam, Elsevier, 1992) v. 4, p. 4.
2. V. Demarne, R. Sanjines. Gas Sensors: Principles, Operation and Developments, ed. by G. Sberveglieri (Dordrecht, Kluwer, 1992) ch. 3, p. 89.
3. Weaver C. Physics of Thin Films, Vol.b., eds.M.H.Francombe, R.W.Hoffman, Academic Press, New York, 1977
4. А.А. Добровольский, Т.А. Комиссарова, Влияние окисления на проводимость

нанокристаллических пленок PbTe(In) в переменном электрическом поле. Физика и техника полупроводников, 2009, том 43, вып. 2

5. Green M., Lee M.J., Chem Solids, 27, 797 (1966)

6. Романенко В.Н., Сергеева Я.В. Физика кристаллизации. Изучение некоторых характеристик р-n переходов в PbTe и PbS с целью оптимизации технологии выращивания соответствующих пленок. Сборник научных трудов Твер. Гос. Университет. 2002, с.95-96

CONTINUOUS-TIME FRACTIONAL ORDER LINEAR SYSTEMS IDENTIFICATION USING CHEBYSHEV WAVELET

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2020.6.77.1002

Shuen Wang^a, Ying Wang^b, Yinggan Tang^{b,*}

^aCollege of Mechanical and Electrical Engineering, Hulunbuir University, Hailar District, Inner Mongolia, 021008, China

^bInstitute of Electrical Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China

ABSTRACT

In this paper, the identification of continuous-time fractional order linear systems (FOLS) is investigated. In order to identify the differentiation orders as well as parameters and reduce the computation complexity, a novel identification method based on Chebyshev wavelet is proposed. Firstly, the Chebyshev wavelet operational matrices for fractional integration operator is derived. Then, the FOLS is converted to an algebraic equation by using the Chebyshev wavelet operational matrices. Finally, the parameters and differentiation orders are estimated by minimizing the error between the output of real system and that of identified systems. Experimental results show the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Identification, fractional order system, Chebyshev wavelet, Operational matrices, Optimization

Introduction

Building an effective and accurate mathematical model to characterize the system's dynamic behavior is an important issue in many engineering fields, especially in the community of control. Traditionally,

most of real systems were modeled by differential equations in the frame of integer order calculus (IOC). The integer order differential equations (IODE) are finite dimensional, in other words, they have local characteristic and short-term history memory.

Therefore, IODE can not fully describe the adequate dynamics of complex systems in some times. As a branch of mathematics, fractional order calculus (FOC) is an extension of IOC to non-integer case. Different from IOC, FOC is non-local and it is able to emphasize mathematically the long-term history memory. Therefore, many real systems such as semi-infinite lossy transmission lines [1], diffusion of the heat through a semi-infinite solid [2, 3], viscoelastic systems [4] and dielectric polarization [5] are more suitable to be described by fractional order models (FOM) than integer ones.

In recent years, modeling real control systems by FOMs is more and more attractive to researchers. For examples, Podlubny built a FOM for a heating furnace in [6], the lead acid battery was modeled by a FOM [7], and Wang et al. built a FOM for thermal process in the boiler main steam system [8]. At present, the practical and popular way of building a FOM for a control system is to system identification. The primary goal of fractional order system identification is to establish a FOM capable of reproducing system's physical behaviour as faithfully as possible from a series of observations [9]. In the literature, many methods have been proposed for fractional order system identification. These methods can be roughly classified into two categories, i.e., the time domain methods and the frequency domain methods. In time domain, the equation-error and output-error methods proposed in [10–13] are basic and typical methods. Simplified refined instrumental variable (SRIVC) method [14], subspace method [15] and set member method [16] have also been proposed for fractional order system identification. In frequency domain, the Levy's identification method was extended by Val'erio et al. to identify fractional transfer function [17–19]. The commensurate and non-commensurate fractional transfer function were studied in [17] and [19], respectively. In [20], a robust estimation of FOM in frequency domain using set membership method was proposed. In [21], a subspace identification method in frequency domain was proposed for commensurate fractional order system identification. In [22], the identifiability of FOM in frequency domain was investigated.

Though great progress have been made in fractional order system identification, several disadvantages are still associated with current researches. First, no matter for time or frequency methods, it is still difficult to identify the differentiation (or integral) orders of fractional order systems [19], coupled with the parameters. Second, extensive computation burden is involved in the process of fractional order system identification. This is because

the calculation of fractional derivative of input and output signals is more complex than integer derivative [23].

Operational matrices, which is constructed based on various orthogonal functions, have been widely adopted to deal with the problems of dynamic system such as the solution of systems, identification and optimal control, etc. [24–26]. The main characteristic of this technique is that it converts a differential equation into an algebraic one. Therefore, it not only simplifies the problem but also tremendously reduces the computational complexities. Recently, various operational matrices of fractional differentiation and integration operators have been developed. B-spline operational matrix [27], Bernstein operational matrix [28], Chebyshev operational matrix [29], block pulse operational matrix [25] and wavelets operational matrix [30–32] are just a few examples. However, these operational matrices were used to find numerical solution of various fractional differentiation equations.

Motivated by the above facts, a novel method based on Chebyshev wavelet operational matrix for FOLS identification is proposed in this paper. Compared to other orthogonal functions, Chebyshev wavelet has several attractive features. First, wavelet can provide accurate representation of many functions and operators. Second, it is local supported, and is very suitable to the analysis of system with abrupt variations. Furthermore, Chebyshev wavelet can be regarded as the hybridization of Haar wavelet and Chebyshev polynomial. First, the FOLS is converted to an algebraic equation via Chebyshev wavelet operational matrix. Then, the parameters and differentiation orders of the FOLS are simultaneously identified by minimizing the error between the output of the true system and that of identified system.

The rest of this paper is organized as follows. In section 2, some mathematical knowledge relative to fractional calculus are briefly introduced. The Chebyshev wavelets and their fractional integration operational matrix are given in section 3. The identification of FOS using Chebyshev wavelets are explained in section 4. The experimental results are given in section 5. Finally, conclusion remarks are given in section 6.

Mathematical background

Definitions of fractional derivatives and integrals

In this section, we give some necessary definitions which will be applied in this paper. Fractional calculus is a generalization of the integration and differentiation to non-integer order fundamental operator aD_t^α , where a and t are the limits and α ($\alpha \in \mathbb{R}$) is the order of the operation [23]. The operator is defined as

$${}_aD_t^\alpha = \begin{cases} \frac{d^\alpha}{dt^\alpha}, & \alpha > 0 \\ 1, & \alpha = 0 \\ \int_a^t (d\tau)^{-\alpha}, & \alpha < 0 \end{cases}, \quad (1)$$

There are several definitions for fractional calculus. Among these definitions, the G-L definition and Riemann-Liouville (R-L) definition will be used in this paper. The G-L definition is given as

$${}_a D_t^\alpha f(t) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{1}{h^\alpha} \sum_{j=0}^{[t-a]/h} \binom{q}{j} f(t - jh) \tag{2}$$

where $[\cdot]$ means the integer part, and

$$\binom{q}{j} = \frac{(-1)^j \Gamma(\alpha + 1)}{\Gamma(j + 1) \Gamma(\alpha + j - 1)}, \tag{3}$$

$\Gamma(\cdot)$ is the Euler's Gamma function and h is the finite sampling interval. The R-L definition is given as [25],

$${}_a D_t^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(n - \alpha)} \left(\frac{d}{dt} \right)^n \int_a^t \frac{f(\tau)}{(t - \tau)^{\alpha+1-n}} d\tau \tag{4}$$

where $n - 1 < \alpha < n, n \in N$. The fractional integration of R-L is given by

$$({}_a I^\alpha f)(t) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_a^t \frac{f(\tau)}{(t - \tau)^{1-\alpha}} d\tau. \tag{5}$$

where $t > a$ and α is the real positive integration order.

The Laplace transform of fractional derivative

Another useful tool for describing fractional order system is the Laplace transform. The Laplace transform of R-L fractional derivative is defined as [33]

$$\mathcal{L}\{{}_0 D_t^\alpha f(t)\} = s^\alpha F(s) - \sum_{k=0}^{n-1} s^k [{}_0 D_t^{\alpha-k-1} f(t)]_{t=0}. \tag{6}$$

Under zero initial condition, the Laplace transform of fractional derivative is simplified as

$$\mathcal{L}\{{}_0 D_t^\alpha f(t)\} = s^\alpha F(s). \tag{7}$$

The Laplace transform of fractional integral under zero initial condition is given as

$$\mathcal{L}\{I_0^\alpha f(t)\} = \frac{1}{s^\alpha} F(s). \tag{8}$$

Chebyshev wavelet operational matrix of fractional integration

Chebyshev wavelet

Wavelets are a family of functions constructed from a dilation and transformation of a single function called the mother wavelet. The continuous wavelets are defined as [34]

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), a, b \in R, a \neq 0, \tag{9}$$

where $\psi(t)$ is called the mother wavelet, a is the dilation parameter and b is the translation parameter. If the dilation and translation parameter are restricted to

discrete values as $a = a^k, b = na^k b_0 (a_0 > 1, b_0 > 0, n$ and k

are positive integers), one can obtain discrete wavelets as

$$\psi_{k,n}(t) = |a_0|^{-k/2} \psi(a_0^k t - nb_0). \quad (10)$$

Chebyshev wavelets are constructed from Chebyshev polynomials, they are defined on the interval $[0,1)$ as

$$\psi_{n,m}(t) = \begin{cases} 2^{k/2} U_m(2^k t - 2n + 1), & \frac{n-1}{2^{k-1}} \leq t \leq \frac{n}{2^{k-1}} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (11)$$

where k is any positive integer, $n = 1, 2, \dots, 2^{k-1}$, and $U_m(t)$ is defined as

$$U_m(t) = \begin{cases} 1/\sqrt{\pi}, & m = 0 \\ \sqrt{2/\pi} T_m(t), & m > 0, \end{cases} \quad (12)$$

where $m = 0, 1, \dots, M-1$, $T_m(t)$ is the first kind of Chebyshev polynomials with the degree of m , which are orthogonal with respect to the weight function $w(t) = 1/\sqrt{1-t^2}$ on the interval $[-1,1]$. $T_m(t)$ can be determined by the following recursive formula,

$$T_0(t) = 1, \quad T_1(t) = t, \quad T_{m+1}(t) = 2tT_m(t) - T_{m-1}(t), \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$

Any square integrable function $f(t)$ on the interval $[0, 1)$ be expanded onto Chebyshev wavelet series as

$$f(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} c_{nm} \psi_{nm}(t), \quad (14)$$

where c_{nm} is called wavelet coefficient and is given by

$$c_{nm} = \langle f(t), \psi_{nm}(t) \rangle = \int_0^1 f(t) \psi_{nm}(t) dt. \quad (15)$$

In practice, the series is truncated and one has an approximation of $f(t)$ as

$$f(t) \cong \sum_{n=1}^{2^{k-1}} \sum_{m=0}^{M-1} c_{nm} \psi_{nm}(t) = C^T \Psi(t), \quad (16)$$

where C and $\Psi(t)$ are $2^{k-1}M \times 1$ matrices given by

$$C \triangleq [c_{10}, c_{11}, \dots, c_{1M-1}, c_{20}, \dots, c_{2M-1}, \dots, c_{2^{k-1}0}, \dots, c_{2^{k-1}M-1}]^T \quad (17)$$

$$\Psi(t) \triangleq [\psi_{10}, \psi_{11}, \dots, \psi_{1M-1}, \psi_{20}, \dots, \psi_{2M-1}, \dots, \psi_{2^{k-1}0}, \dots, \psi_{2^{k-1}M-1}]^T \quad (18)$$

Chebyshev wavelet operational matrix of fractional integration

For a Chebyshev wavelet vector $\Psi(t)$ in (18), if

$$(I_a^\alpha \Psi)(t) = P \Psi(t), \quad (19)$$

then P is called the Chebyshev wavelet operational matrix of fractional integration via the block functions. Since Chebyshev wavelets are $2^{k-1}M$. In the following, we derive the Chebyshev

piecewise constant, they can be expanded into m -term block pulse functions as

$$\Psi_m(t) = \Phi_{m \times m} B_m(t), \tag{20}$$

where $B_m(t) = [b_1(t), b_2(t), \dots, b_m(t)]^T$ is block pulse function vector with

$$b_i(t) = \begin{cases} 1, & \frac{i}{m} \leq t < \frac{i+1}{m} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}. \tag{21}$$

The block pulse operational matrix of fractional integration F^α is [35]

$$F^\alpha = \left(\frac{1}{m}\right)^\alpha \frac{1}{\Gamma(\alpha + 2)} \begin{pmatrix} f_1 & f_2 & f_3 & \dots & f_M \\ 0 & f_1 & f_2 & \dots & f_{M-1} \\ \vdots & \ddots & f_1 & \dots & f_{M-2} \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 0 & f_1 \end{pmatrix}_{m \times m} \tag{22}$$

where $f_1 = 1, f_p = p^{\alpha+1}2(p1)^{\alpha+1} + (p2)^{\alpha+1}$. Take the R-L fractional integration in both sides of Eq.(20), one can obtain

$$(I_0^\alpha \Psi_m)(t) = (I_0^\alpha \Phi_{m \times m} B_m)(t) = \Phi_{m \times m} (I_0^\alpha B_m)(t) = \Phi_{m \times m} F^\alpha B_m(t). \tag{23}$$

From Eq.(20), one has

$$B_m(t) = \Phi_{m \times m}^{-1} \Psi_m(t). \tag{24}$$

Substitute Eq.(24) into Eq.(51) and we can get

$$(I_0^\alpha \Psi_m)(t) = \Phi_{m \times m} F^\alpha \Phi_{m \times m}^{-1} \Psi_m(t), \tag{25}$$

therefore, we have the Chebyshev wavelet operational matrix of fractional integration as

$$P_{m \times m}^\alpha = \Phi_{m \times m} F^\alpha \Phi_{m \times m}^{-1}. \tag{26}$$

The analytical expression of fractional integrable function $f(t)$ can be expressed as

$$(I^\alpha f)(t) = C^T P^\alpha \Psi_m(t). \tag{27}$$

By applying the Chebyshev operational matrix, one can convert the fractional integral of a function into an algebra operation, which can dramatically reduce the complexity of problems under

consideration. The Chebyshev operational matrix of fractional derivative G^α can be obtained by inverting the matrix P^α , i.e.,

$$G^\alpha = P^{-\alpha}. \tag{28}$$

FOS identification using Chebyshev wavelet operational matrices

Consider a single input single output (SISO) linear time invariant (LTI) fractional order system described by the following differential equation,

$$\sum_{i=0}^n a_i D_0^{\alpha_i} y(t) = \sum_{j=0}^m b_j D_0^{\beta_j} u(t). \quad (29)$$

The transfer function of the system (29) is given as

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^{\beta_m} + b_{m-1} s^{\beta_{m-1}} + \dots + b_0 s^{\beta_0}}{a_n s^{\alpha_n} + a_{n-1} s^{\alpha_{n-1}} + \dots + a_0 s^{\alpha_0}} \quad (30)$$

where α_i and β_j are arbitrary positive real numbers, $u(t)$ and $y(t)$ are the input and output of the system.

The goal of FOLS identification is to estimate the system parameters a_i , b_j , and the differential orders α_i and β_j according to the measured input and output data.

In this paper, the Chebyshev wavelet operational matrices of fractional integral is utilized for this purpose. To this end, both the numerator and denominator divide s^{α_n} , one can get

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{b_m s^{\beta_m - \alpha_n} + b_{m-1} s^{\beta_{m-1} - \alpha_n} + \dots + b_0 s^{\beta_0 - \alpha_n}}{a_n + a_{n-1} s^{\alpha_{n-1} - \alpha_n} + \dots + a_0 s^{\alpha_0 - \alpha_n}}, \quad (31)$$

Eq.(31) can be expressed as

$$\sum_{i=0}^n a_i [s^{\alpha_i - \alpha_n} Y(s)] = \sum_{j=0}^m b_j [s^{\beta_j - \alpha_n} U(s)]. \quad (32)$$

Applying Eq.(27) to the system input and output, one can get

$$(I_0^\alpha y)(t) \cong C_Y^T P^\alpha \Psi_m(t), \quad (33)$$

And

$$(I_0^\alpha u)(t) \cong C_U^T P^\alpha \Psi_m(t). \quad (34)$$

Take the inverse Laplace transform of both sides of Eq.(32) and using Eqs.(33)- (34), one can get

$$C_Y^T D \Psi_m(t) = C_U^T N \Psi_m(t), \quad (35)$$

Where

$$D = a_0 P^{\alpha_n - \alpha_0} + a_1 P^{\alpha_n - \alpha_1} + \dots + a_n I, \quad (36)$$

And

$$N = b_0 P^{\beta_m - \alpha_n} + b_1 P^{\beta_{m-1} - \alpha_n} + \dots + b_m I. \quad (37)$$

From Eq.(35), one has

$$C_Y^T = C_U^T N D^{-1}. \quad (38)$$

Since

$$y(t) = C_Y^T \Psi_m(t), \quad (39)$$

Therefore, we have

$$y(t) = C_U^T N D^{-1} \Psi_m(t). \tag{40}$$

Eq.(40) provides an effective and simple way to calculate the output $y(t)$ of fractional system (29). It is an algebraic operation instead of differential equation, which avoids complex calculation of fractional derivative of input and output signal. Furthermore, the matrix ND^{-1} contains the system parameters and the fractional differential orders. The above advantages

enable us easily to construct an algorithm to identify the parameters and the fractional differential orders.

Let $\hat{a}_i, \hat{b}_j, \hat{\alpha}_i$ and $\hat{\beta}_j$ be the estimation of a_i, b_j, α_i and β_j . According to (40), the operational matrix representation of the output of the estimated system can be written as

$$\hat{y}(t) = C_U^T \hat{N} \hat{D}^{-1} \Psi_m(t), \tag{41}$$

where N and D are the estimation of matrices N and D . The optimal estimation of parameters can be obtained by minimizing the following objective function,

$$(\hat{a}_i^*, \hat{b}_j^*, \hat{\alpha}_i^*, \hat{\beta}_j^*) = \min_{(\hat{a}_i, \hat{b}_j, \hat{\alpha}_i, \hat{\beta}_j) \in \Gamma} \frac{1}{L} \sum_{t=1}^L [y(t) - \hat{y}(t)]^2, \tag{42}$$

where Γ is the admitted search range of system parameters, and L is the number of data point used for parameter estimation.

To solve the optimization problem (42), many conventional optimization techniques can be used. In this paper, `fmincon` function in MATLAB optimization toolbox is used. For the convenience of statement, let $\theta = [a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_m, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m]$ be the generalized parameter vector of system (16), which contains the parameters a_i, b_j and the fractional differential orders α_i and β_j , $\hat{\theta}$ be the estimation of θ . The main steps for identifying the parameters and fractional differential orders of the fractional order system are summarized as follows:

Step 1: Preparing identification data. Exciting the original fractional system using an input signal $u(t)$ and record the its corresponding output $y(t)$.

Step 2: Let $k = 0$, give an initial guess of the estimated parameter vector $\hat{\theta}^0$, and calculate the output of estimated system according to Eq.(34).

Step 3: Performing an iterative process to get the next estimation $\hat{\theta}^k$ using a certain optimization method.

Step 4: $k = k + 1$, and goto Step 3 until a termination criteria is satisfied.

Simulation examples

In this section, four identification examples are given to show the effectiveness of the proposed identification method. To quantify the estimation accuracy, the relative error (RE) of parameters identification and the mean square error (MSE) between the output of the true system are calculated. RE is defined as

$$RE = \|\hat{\theta} - \theta\| / \|\theta\|. \tag{43}$$

Example 1

Consider a FOLS as

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2.5}{1.2s^{2.5} + 1.5s^{1.3} + 0.7}. \tag{44}$$

First, both the numerator and denominator divide $s^{2.5}$, then, the transfer function of system(44) can be written as

$$H(s) = \frac{2.5s^{-2.5}}{1.2 + 1.5s^{-1.2} + 0.7s^{-2.5}}. \tag{45}$$

The coefficient of system (44) are $a_0 = 0.7, a_1 = 1.5, a_2 = 1.2, b_0 = 2.5$ and the integral order are $\alpha_0 = 2.5, \alpha_1 = 1.2, \alpha_2 = 0, \beta_0 = 2.5$. A unit step signal is used as input to excite the system and record the input output data. In simulation, we select $M = 4, k = 7$.

Therefore, the dimension of the Chebyshev wavelet operational matrix is $m = 256$.

And we can take 1000 collocation points on the interval $[0,10]$. Therefore, for arbitrary orders, the input

signal vector U in Eq.(23) is $U = [1, 1, , 1]^T$, whose length is equal to 256.

The identification of the parameters and orders is achieved by minimizing objective function (42). To this end, the MATLAB function `fmincon` with `interior-point` method is adopted. The identification results are listed in Table 1, which are compared with the Haar

wavelets operational matrix method. The step response of the true system and the identification system are plotted in Fig.1, and the Bode diagrams are shown in Fig.2. It can be seen that the parameters of the identified system are in agreement with the true values, so the step responses are almost overlap. The frequency responses

Table 1: Parameter identification results of Example 1

Parameter	True value	Haar wavelets	Chebyshev wavelets
α_0	2.5	2.4991	2.4992
α_1	1.2	1.2011	1.2010
α_2	0	0	0
β_0	2.5	2.4980	2.4981
a_0	0.7	0.7054	0.7052
a_1	1.5	1.5135	1.5128
a_2	1.2	1.2169	1.2157
b_0	2.5	2.5265	2.5249
PE		0.0070	0.0066
MSE		5.4840e-05	5.0542e-05

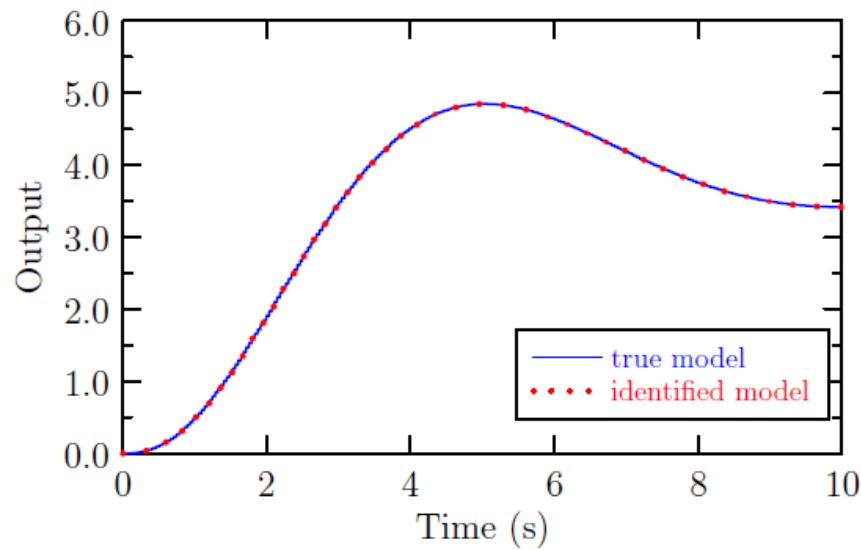


Figure 1: Step responses of the true system and the identified system of Example 1

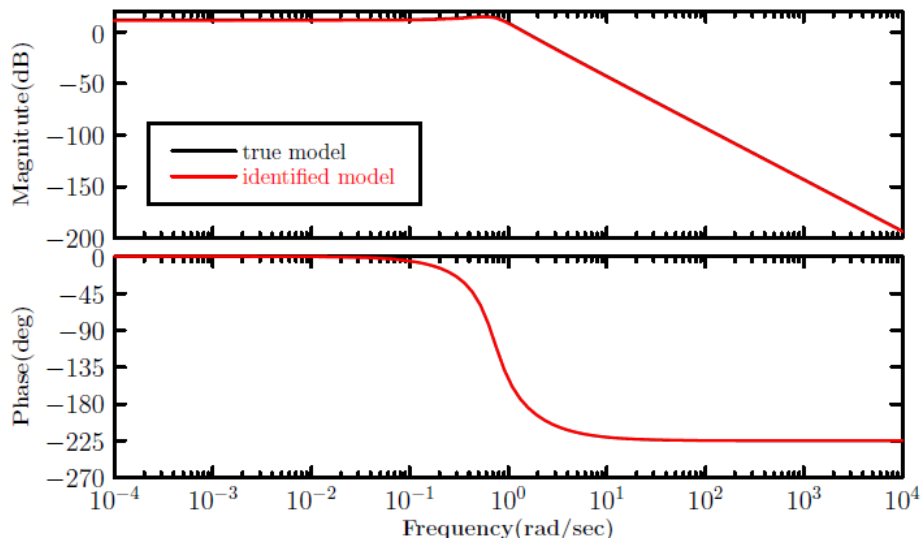


Figure 2: Bode diagram of the true system and the identified system of Example 1

of the two systems come to the same conclusion. Therefore, the identified models give satisfactory results.

The identified the system is verified by using a sinusoidal $u(t) = \sin(t)$ as the input signal to excite the system. The response of the two systems are shown in Fig.3.

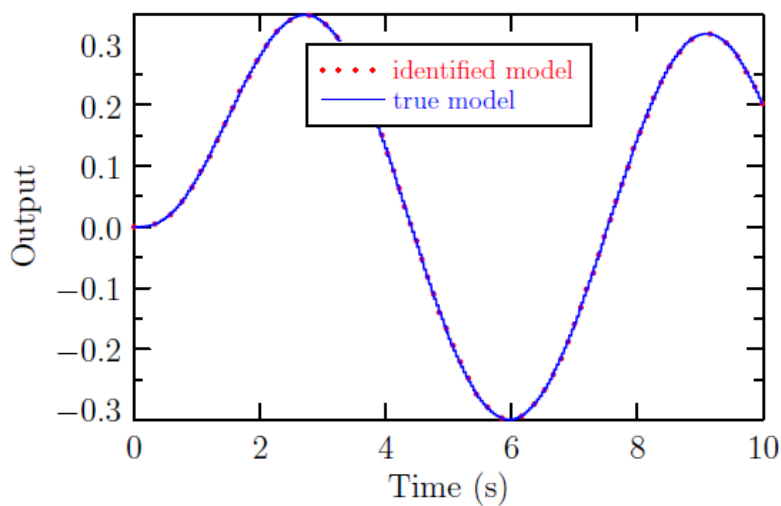


Figure 3: Sinusoidal responses of the true system and the identified system of Example 1

Example 2

The second FOLS with the following transfer function is considered,

$$H(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{2.3s^{1.3} + 3}{1.5s^{2.1} + 0.7s^{1.5} + 2.7s^{0.7} + 0.5} \tag{46}$$

Similarly, the numerator and denominator of system (46) both divide $s^{1.8}$, then system (46) can be rewritten as

$$H(s) = \frac{2.3s^{-0.8} + 3s^{-2.1}}{1.5 + 0.7s^{-0.6} + 2.7s^{-1.4} + 0.5s^{-2.1}} \tag{47}$$

The parameters of system (46) are $a_0 = 0.5, a_1 = 2.7, a_2 = 0.7, a_3 = 2.3, b_0 = 3, b_1 = 2.3$ and the orders are $\alpha_0 = 2.1, \alpha_1 = 1.4, \alpha_2 = 0.6, \alpha_3 = 0, \beta_0 = 2.1, \beta_1 = 0.8$.

As in Example, a unit step signal is used as input to excite the system. The identification process is the same as Example 1. The identification results are shown in

Table 2. The step response of the true system and that of identified system is shown in Fig.4 and the Bode diagram is shown in Fig.5.

The identified system is verified by using an sinusoidal as input. The responses of the true system and

the identified system for sinusoidal signal are shown in Fig.6. It can be seen that the time and frequency responses of the two systems are very close. Therefore, the identification results are satisfactory.

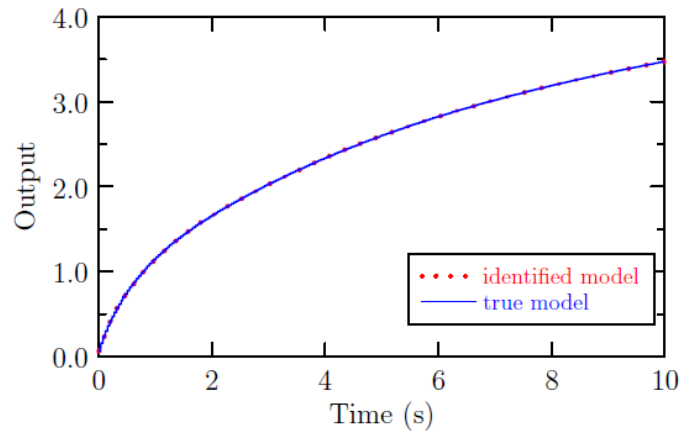


Figure 4: Step responses of the true model and the identified model of Example 2

Table 2: Parameter identification result of Example 2

Parameter	True value	Haar wavelets	Chebyshev wavelets
α_0	2.1	2.1237	2.1177
α_1	1.4	1.4139	1.4111
α_2	0.6	0.6753	0.6636
α_3	0	0	0
β_0	2.1	2.0822	2.0859
β_1	0.8	0.7925	0.7925
a_0	0.5	0.4231	0.4412
a_1	2.7	2.7202	2.7235
a_2	0.7	0.7329	0.7213
a_3	1.5	1.5313	1.5373
b_0	3	3.0456	3.0465
b_1	2.3	2.2618	2.2766
PE		0.0227	0.0191
MSE		8.3603e-05	5.4363e-05

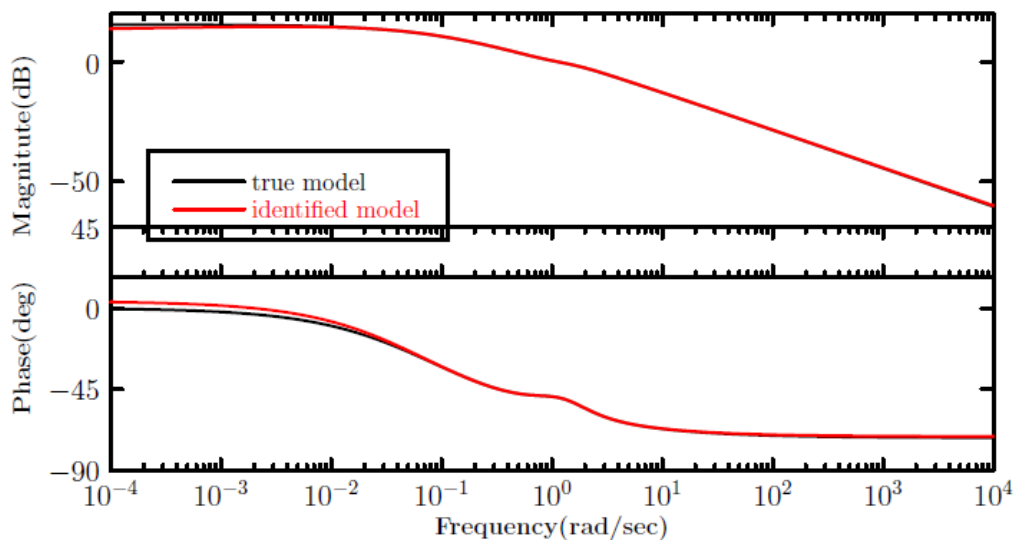


Figure 5: Bode diagram of the true model and the identified model of Example 2

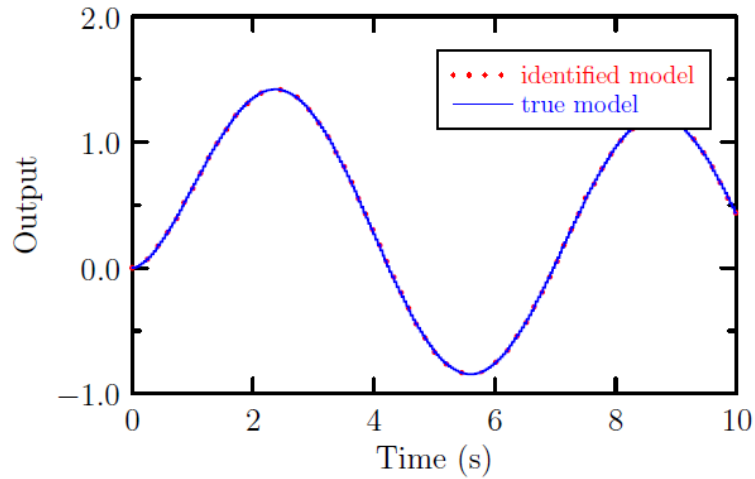


Figure 6: Sinusoidal responses of the true model and the identified model of Example 2

Example 3

Here, we consider an integer order system, which is a special case of fractional system. Its transfer function is given as

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + 5s + 2}. \tag{48}$$

The numerator and denominator of the system both divide s^2 , one gets

$$H(s) = \frac{s^{-2}}{1 + 3s^{-1} + 2s^{-2}} \tag{49}$$

The parameters of the system are $a_0 = 2, a_1 = 3, a_2 = 1, b_0 = 1$, and the orders are $\alpha_0 = 2, \alpha_1 = 1, \alpha_2 = 0$. The identification process is the same as the previous two examples. The estimated values are listed in Table 3. The step responses and Bode diagrams of the true system and the identified system are shown in Fig.7 and

Fig.8, respectively. It can be seen that the time and frequency responses of the two systems are very close.

Example 4

Lastly, a heating furnace is considered, its transfer function is given as

$$G(s) = \frac{1}{14994s^{1.31} + 6009.5s^{0.97} + 1.69}. \tag{50}$$

Table 3: The parameter identification results of Example 3

Parameter	True value	Identified value	
α_0	2	1.9987	1.9987
α_1	1	0.9967	0.9967
α_2	0	0	0
β_0	2	1.9983	1.9983
a_0	2	1,9797	1.9844
a_1	3	2.9715	2.9786
a_2	1	0.9946	0.9970
b_0	1	0.9909	0.9934
PE		0.0075	0.0056
MSE		4.7642e-06	4.7406e-06

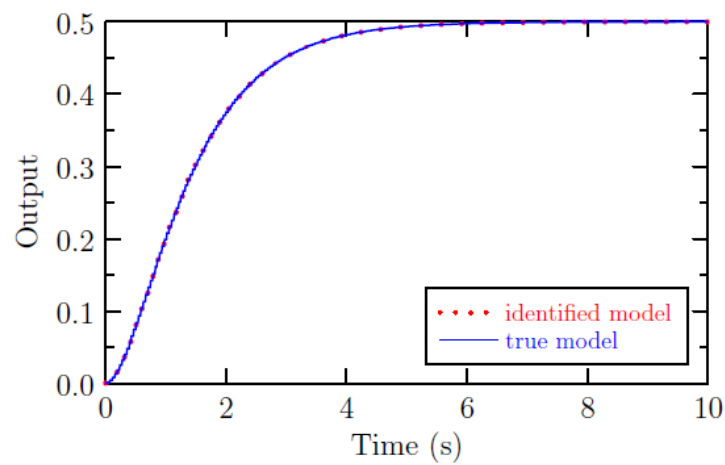


Figure 7: Step response of the true system and the identified system of Example 3

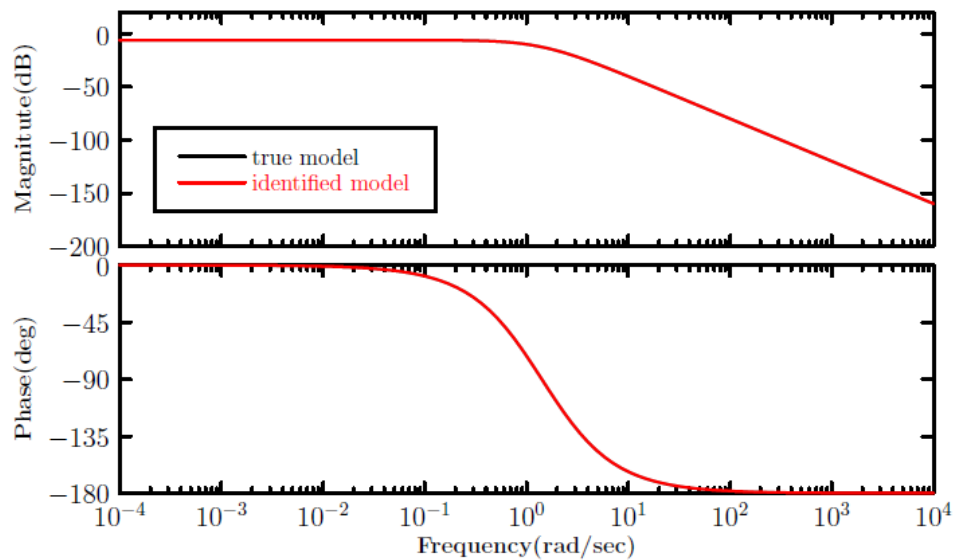


Figure 8: Bode diagram of the true system and the identified system of Example 3

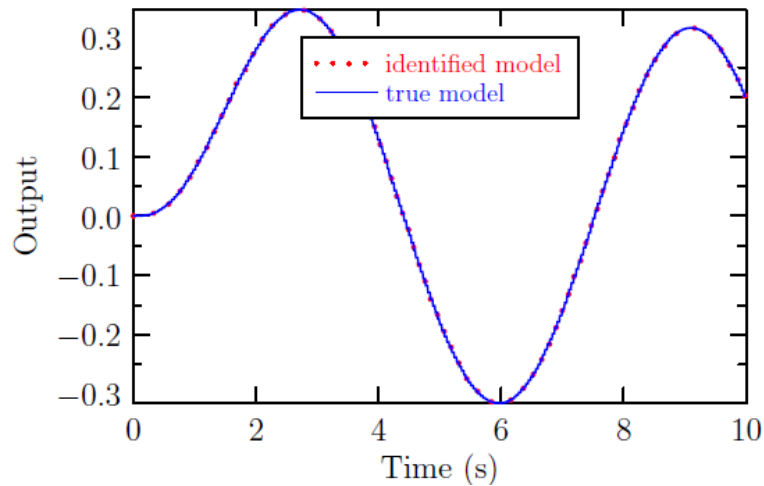


Figure 9: Sinusoidal responses of the true system and the identified system of Example 3

Also, the numerator and denominator both divide $s^{1.31}$ and one can get

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{s^{-1.31}}{14994 + 6009.5s^{-0.34} + 1.69s^{-1.31}} \tag{51}$$

The parameters of the system are $a_0 = 1.69$, $a_1 = 6009.5$, $a_2 = 14994$, $b_0 = 1$, the orders of the system are $\alpha_0 = 1.31$, $\alpha_1 = 0.34$, $\alpha_2 = 0$ and $\beta_0 = 1.31$. The identification process is similar to the previous three examples. The identification results of parameters and

the fractional differential orders are listed in Table 4. The step responses and Bode diagrams of the true system and the identified system are shown in Fig.10 and Fig.11, respectively.

Table 4: Parameter identification results of Example 4

Parameter	True value	identified value	
α_0	1.31	1.3562	1.3306
α_1	0.34	0.3858	0.3565
α_2	0	0	0
β_0	1.31	1.3481	1.3285
a_0	1.69	1.6484	1.5965
a_1	6009.5	6009.02	6009.1337
a_2	14994	14994	14994.2317
b_0	1	1.0591	0.9654
PE			
MSE			

Conclusion

In this paper, a novel method is proposed to identify FOLS based on Chebyshev wavelet operational matrix of the fractional integration. Several simulations are presented to demonstrate the efficiency of the methodology for fractional system identification. Compared with block pulse functions and Haar

wavelets operational matrix method, Chebyshev wavelets operational matrix method has better accuracy with lower PE and MSE when applied to the identification of fractional system. The precision can be improved by increasing the dimension, but it comes at the cost of computational time

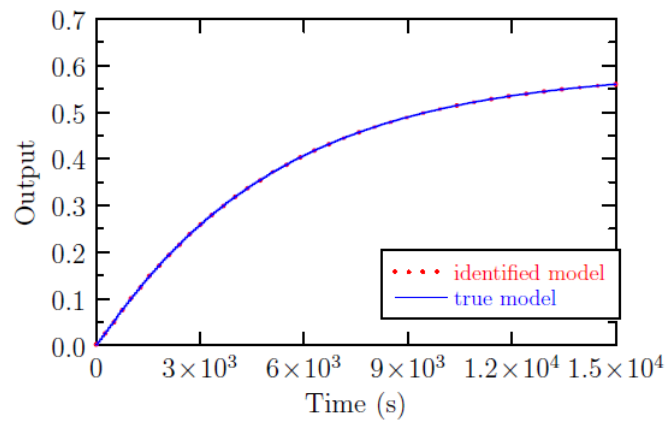


Figure 10: Step response of the true system and the identified system of Example 4

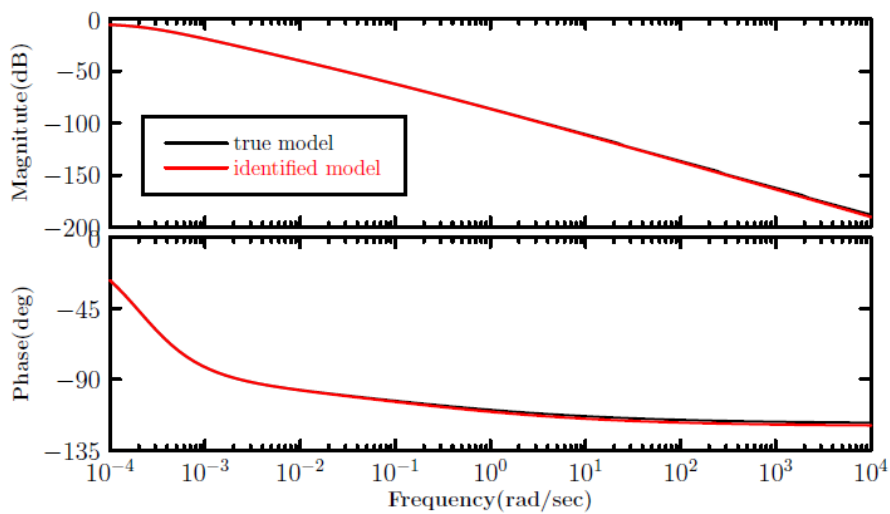


Figure 11: Bode diagram of the true system and the identified system of Example 4

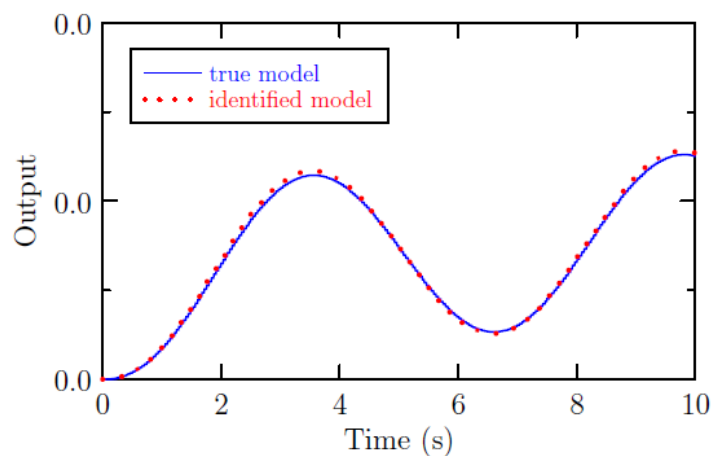


Figure 12: Sinusoidal responses of the true system and the identified system of Example 4

Acknowledgement

This work is partially supported by the National Natural Science Foundation of China (Nos.61273260,61771418).

References

1. J.C.Wang, Realizations of generalized Warburg impedance with RC ladder networks and transmission lines, Journal of Electrochemical Soc. 134

- (8) (1987) 1915–1920.
2. A. Benchellal, T. Poinot, J.-C. Trigeassou, Modelling and identification of diffusive systems using fractional models, in: *Advances in Fractional Calculus*, Springer, 2007, pp. 213–225.
 3. A. Benchellal, T. Poinot, C. Trigeassou, Approximation and identification of diffusive interfaces by fractional systems, *Signal Processing* 86 (10) (2006) 2712–2727.
 4. R. Bagley, R.A. Calico, Fractional order state equations for the control of viscoelastically damped structures, *Journal of Guidance, Control, and Dynamics* 14 (1991) 304–311.
 5. H. Sun, A.A. Abdelwahed, B. Onaral, Linear approximation for transfer function with a pole of fractional order, *IEEE Trans on Automatica Control* 29 (1984) 441–444.
 6. I. Podlubny, L. Dorcak, I. Kostial, On fractional derivatives, fractional-order dynamic systems and $PI^D\mu$ controllers, in: *Proceedings of the 36th IEEE Conference on Decision and Control*, Vol. 5, 1997, pp. 4985–4990.
 7. J. Sabatier, M. Aoun, A. Oustaloup, G. Grégoire, F. Ragot, P. Roy, Fractional system identification for lead acid battery state of charge estimation, *Signal Processing* 86 (10) (2006) 2645–2657.
 8. D. Wang, X. Wang, P. Han, Identification of thermal process using fractional-order transfer function based on intelligent optimization, in: *2010 IEEE/ASME International Conference on Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA)*, IEEE, 2010, pp. 498–503.
 9. A. Oustaloup, J. Sabatier, P. Lanusse, R. Malti, P. Melchior, X. Moreau,
 10. M. Moze, et al., An overview of the CRONE approach in system analysis, modeling and identification, observation and control, in: *Proc. of the 17th World Congress IFAC*, no. 6-11, 2008.
 11. L. L. Lay, Identification fréquentielle et temporelle par modèle non entier, Ph.D. thesis, Université Bordeaux I, Talence (1998).
 12. J. Lin, Modélisation et identification de systèmes d'ordre non entier, Ph.D. thesis, Université de Poitiers, France (2001).
 13. O. Cois, Systèmes linéaires non entiers et identification par modèle non entier: application en thermique, Ph.D. thesis, Université Bordeaux I, Talence (2002).
 14. M. Aoun, Systèmes linéaires non entiers et identification par bases orthogonales non entières, Ph.D. thesis, Université Bordeaux I, Talence (2005).
 15. R. Malti, S. Victor, A. Oustaloup, H. Garnier, et al., An optimal instrumental variable method for continuous time fractional model identification, in: *The 17th IFAC World Congress*, 2008.
 16. L. Zeng, P. Cheng, W. Yong, Subspace identification for commensurate fractional order systems using instrumental variables, in: *2011 30th Chinese Control Conference (CCC)*, IEEE, 2011, pp. 1636–1640.
 17. R. Malti, T. Raïssi, M. Thomassin, F. Khemane, Set membership parameter estimation of fractional models based on bounded frequency domain data, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15 (4) (2010) 927–938.
 18. D. Valério, J. S. da Costa, Identification of fractional models from frequency data, in: *Advances in Fractional Calculus*, Springer, 2007, pp. 229–242.
 19. D. Valério, M. D. Ortigueira, J. S. da Costa, Identifying a transfer function from a frequency response, *Journal of Computational and Nonlinear Science* 3 (2) (2008) 021207–1.
 20. D. Valério, I. Tejado, Identifying a non-commensurate fractional transfer function from a frequency response, *Signal Processing* 107 (0) (2015) 254 – 264, special Issue on ad hoc microphone arrays and wireless acoustic sensor networks Special Issue on Fractional Signal Processing and Applications. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2014.03.001>.
 21. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168414000954>
 22. F. Khemane, R. Malti, T. Raïssi, X. Moreau, Robust estimation of fractional models in the frequency domain using set membership methods, *Signal Processing* 92 (7) (2012) 1591 – 1601. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.sigpro.2011.12.008>.
 23. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165168411004415>
 24. E. Ivanova, R. Malti, X. Moreau, Frequency-domain subspace system identification with fractional differentiation models, in: *Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, 2014 IEEE/ASME 10th International Conference on, 2014, pp. 1–6.
 25. P. Nazarian, M. Haeri, M. S. Tavazoei, Identifiability of fractional order systems using input output frequency contents, *ISA Transactions* 49 (2010) 207–214.
 - I. Podlubny, *Fractional Differential Equations*, Academic Press, 1999.
 26. C.F. Chen, C.H. Hsiao, Haar wavelet method for solving lumped and distributed parameter systems, *IEEE Proceedings-Control Theory and Applications* 144 (1) (1997) 87–94.
 27. C. Wang, On the generalization of block pulse operational matrices for fractional calculus and applications, *Journal of the Franklin Institute* 315 (2) (1983) 91–102.
 28. C.-H. Wang, Genmatrices block-pulse operational matrices and their applications to operational calculus, *International Journal of Control* 36 (1) (1982) 67–76.
 29. M. Lakestani, M. Dehghan, S. Irandoust-pakchin, The construction of operational matrix of fractional derivatives using B-spline functions, *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.* 17 (2012) 1149–1162.
 30. A. Saadatmandi, Bernstein operational matrix of fractional derivatives and its applications, *Applied Mathematical Modelling* 38 (4) (2014) 1365 – 1372. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2013.08.007>.
 31. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0307904X13005143>

32. M. Lakestani, M. Dehghan, S. Irandoust-pakchin, The construction of operational matrix of fractional derivatives using B-spline functions, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 17 (3) (2012) 1149 – 1162. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cnsns.2011.07.018>.
33. URL
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007570411003868>
34. E. Babolian, F. Fattahzadeh, Numerical solution of differential equations by using Chebyshev wavelet operational matrix of integration, *Applied Mathematics and Computation* 188 (2007) 417–426.
35. H. Danfu, S. Xufeng, Numerical solution of integro-differential equations by using CAS wavelet operational matrix of integration, *Applied Mathematics and Computation* 194 (460–466).
36. M. Yi, J. Huang, Wavelet operational matrix method for solving fractional differential equations with variable coefficients, *Applied Mathematics and Computation* 230 (2014) 383–394.
37. K. S. Miller, B. Ross, *An introduction to the fractional calculus and fractional differential equations*, Wiley-Interscience, 1993.
38. Y. LI, Solving a nonlinear fractional differential equation using Chebyshev wavelets, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 15 (9) (2010) 2284 – 2292.
39. Y. Tang, H. Liu, W. Wang, Q. Lian, X. Guan, Parameter identification of fractional order systems using block pulse functions, *Signal Processing* 6 (5) (2015) 6–11.

ЕВРАЗИЙСКИЙ СОЮЗ УЧЕНЫХ (ЕСУ)

Ежемесячный научный журнал

№ 8 (77)/2020

6 часть

Редакционная коллегия:

д.п.н., профессор Аркулин Т.В. (Москва, РФ)

Члены редакционной коллегии:

- Артафонов Вячеслав Борисович, кандидат юридических наук, доцент кафедры экологического и природоресурсного права (Москва, РФ);
- Игнатьева Ирина Евгеньевна, кандидат экономических, преподаватель кафедры менеджмента (Москва, РФ);
- Кажемаев Александр Викторович, кандидат психологических, доцент кафедры финансового права (Саратов, РФ);
- Кортун Аркадий Владимирович, доктор педагогических, профессор кафедры теории государства и права (Нижний Новгород, РФ);
- Ровенская Елена Рафаиловна, доктор юридических наук, профессор, заведующий кафедрой судебных экспертиз, директор Института судебных экспертиз (Москва, Россия);
- Селиктарова Ксения Николаевна (Москва, Россия);
- Сорновская Наталья Александровна, доктор социологических наук, профессор кафедры социологии и политологии;
- Свистун Алексей Александрович, кандидат филологических наук, доцент, советник при ректорате (Москва, Россия);
- Тюменев Дмитрий Александрович, кандидат юридических наук (Киев, Украина)
- Варкумова Елена Евгеньевна, кандидат филологических, доцент кафедры филологии (Астана, Казахстан);
- Каверин Владимир Владимирович, научный сотрудник архитектурного факультета, доцент (Минск, Белоруссия)
- Чукмаев Александр Иванович, доктор юридических наук, профессор кафедры уголовного права (Астана, Казахстан)

Ответственный редактор

д.п.н., профессор Каркушин Дмитрий Петрович (Москва, Россия)

Художник: Косыгин В.Т

Верстка: Зарубина К.Л.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов.

При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Адрес редакции:

г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия

E-mail: info@euroasia-science.ru ;

www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»

Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии г.Москва, Лужнецкая набережная 2/4, офис №17, 119270 Россия