



Slovak international scientific journal

№41, 2020

Slovak international scientific journal VOL.1

The journal has a certificate of registration at the International Centre in Paris – ISSN 5782-5319.

The frequency of publication – 12 times per year.

Reception of articles in the journal – on the daily basis.

The output of journal is monthly scheduled.

Languages: all articles are published in the language of writing by the author.

The format of the journal is A4, coated paper, matte laminated cover.

Articles published in the journal have the status of international publication.

The Editorial Board of the journal:

Editor in chief – Boleslav Motko, Comenius University in Bratislava, Faculty of Management

The secretary of the journal – Milica Kovacova, The Pan-European University, Faculty of Informatics

- Lucia Janicka – Slovak University of Technology in Bratislava
- Stanislav Čerňák – The Plant Production Research Center Piešťany
- Miroslav Výtisk – Slovak University of Agriculture Nitra
- Dušan Igaz – Slovak University of Agriculture
- Terézia Mészárossová – Matej Bel University
- Peter Masaryk – University of Rzeszów
- Filip Kocisov – Institute of Political Science
- Andrej Bujalski – Technical University of Košice
- Jaroslav Kovac – University of SS. Cyril and Methodius in Trnava
- Paweł Miklo – Technical University Bratislava
- Jozef Molnár – The Slovak University of Technology in Bratislava
- Tomajko Milaslavski – Slovak University of Agriculture
- Natália Jurková – Univerzita Komenského v Bratislave
- Jan Adamczyk – Institute of state and law AS CR
- Boris Belier – Univerzita Komenského v Bratislave
- Stefan Fišan – Comenius University
- Terézia Majercakova – Central European University

1000 copies

Slovak international scientific journal

Partizanska, 1248/2

Bratislava, Slovakia 811 03

email: info@sis-journal.com

site: <http://sis-journal.com>

CONTENT

BOTANY

Okrushko S.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE GROWTH
REGULATOR MARS EL ON THE FORMATION OF ROOT
YIELD CARROTS 3

Tomchuk V.

TRENDS OF PLANT FERTILIZATION UNDER NEW
PRODUCTION CONDITIONS 7

CHEMISTRY

Tirkasheva S., Ziyadullaev O., Buriyev F.

VINYLATION OF 1-PHENYL-3-METHYLBUTYN-1-OL-3
ACETYLENE 18

Shumeiko A., Afonkin A.

PRODUCTION OF SOME ELECTRONICALLY -
SATURATED ARILS (HETARIL) OF OXYRANS IN
INTERPHASIC AND HOMOGENEOUS CONDITIONS ... 25

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

Mustafina G., Krasnikova N.

ANALYSIS OF RAW MATERIALS FOR HEAVY CONCRETE
IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN..... 30

ELECTRICAL ENGINEERING

Volyanskaya Ya., Volyanskiy S.

TASKS OF CONTROL SYSTEM'S AUTOMATION FOR
MULTI PURPOSE DUAL-DUTY VESSELS..... 33

MATERIALS SCIENCE AND MECHANICS OF MACHINES

Pipchenko O.

FEATURES OF SHIP HEADING MANEUVERING IN
CLOSE QUARTERS SITUATION 39

MEASURING SYSTEMS

Viediernikov D.

MODELS AND METHODS FOR SIGNAL PARAMETERS
ESTIMATION IN EXCESS NON-GAUSSIAN CORRELATED
NOISE 47

BOTANY

ОЦІНКА ВПЛИВУ РЕГУЛЯТОРА РОСТУ MARS EL НА ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ КОРЕНЕПЛОДІВ МОРКВИ СТОЛОВОЇ

Окрушко С.Є.

*Кандидат сільськогосподарських наук,
доцент кафедри ботаніки, генетики та захисту рослин,
Вінницький національний аграрний університет*

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF THE GROWTH REGULATOR MARS EL ON THE FORMATION OF ROOT YIELD CARROTS

Okrushko S.

*Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor of Botany, Genetics and Plant Protection,
Vinnytsia National Agrarian University*

Анотація

У статті доведено та науково обґрунтовано, що використання регулятора росту Mars EL є ефективним для рослин моркви, тому що забезпечує істотне підвищення врожайності коренеплодів. Було встановлено, що після намочування в розчині препарату Mars EL схожість насіння зростає на 10% у гібриду Абако та 11% у гібриду Канада. Із розрахунку на одну рослину під дією PPP Mars EL у моркви збільшувалася кількість листків на 1-3 шт. в гібриду Абако та на 1-4 шт. в гібриду Канада. Застосування Mars EL для намочування насіння та обприскування рослин тричі упродовж вегетації забезпечило найвищу врожайність у досліді. Було отримано на ділянках, де вирощували гібрид Абако 51,7 т/га, а на ділянках, де вирощували гібрид Канада – 57,4 т/га. Підвищення товарності коренеплодів моркви на цьому ж варіанті внаслідок застосування PPP Mars EL склало 6 %.

Abstract

The article proves and scientifically substantiates that the use of the growth regulator Mars EL is effective for carrot plants because it provides a significant increase in root yield. It was found that after soaking in a solution of Mars EL, seed germination increased by 10% in the hybrid Abaco and 11% in the hybrid Canada. Per one plant under the action of PPP Mars EL in carrots increased the number of leaves by 1-3 pcs. in the hybrid Abaco and 1-4 pcs. in the hybrid Canada. The use of Mars EL to soak seeds and spray plants three times during the growing season provided the highest yields in the experiment. It was obtained in areas where the Abaco hybrid was grown 51,7 t/ha, and in areas where the Canada hybrid was grown – 57,4 t/ha. The increase in the marketability of carrot roots in the same case due to the use of PPP Mars EL was 6%.

Ключові слова: регулятор росту рослин, морква, гібрид, урожайність, товарність.

Keywords: plant growth regulator, carrots, hybrid, yield, marketability.

Постановка проблеми. Для сучасного овочівництва є проблемою отримання високої врожайності культур із стабільною та якісною продуктивністю за мінливих агрометеорологічних умов їх вирощування. Використання препаратів, що входять до групи регуляторів росту та розвитку рослин забезпечує позитивний вплив на процеси формування врожайності культур. Але особливо цінним є той факт, що при цьому не відбувається збільшення на агрофітоценози хімічного навантаження.

До борщової групи овочевих культур входить і морква, що забезпечує їй високий попит впродовж календарного року. Реалізація пучкової продукції, стабільне використання для харчування людей, використання на корм худобі та в консервній промисловості сприяють розширенню площ під цією цінною культурою.

Слід зазначити і можливий експортний потенціал для України за умов вирощування моркви, як органічної продукції.

Перед аграріями постає завдання за різних погодних та ґрунтових умов вирощування отримувати

стабільні та якісні врожаї товарних коренеплодів моркви. Тому потрібно на виробництві впроваджувати нові елементи технології, які мають економне використання ресурсів та високу ефективність.

Ускладнення погодних умов через глобальне потепління може спричиняти недобір урожаю коренеплодів моркви та зростання кількості нетоварної продукції. Нівелювати негативний вплив температурних стресів, активізувати процеси життєдіяльного забезпечення вологою можуть регулятори росту. Їх низька ціна, висока ефективність, безпечність для довкілля є тим чинником, що спонукає аграріїв до широкого використання в агрофітоценозах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Ефективний розвиток овочівництва в сучасних умовах можливий лише шляхом розвитку маркетингу в овочівництві, впровадження інноваційно-інвестиційної моделі розвитку галузі, постійного насичення інноваціями технологій вирощування, зберігання і реалізації овочів [9].

Розробка дієвих механізмів активізації та впровадження концепції екологічно безпечного виробництва повинна бути безперервним і налагодженим процесом [4].

У технологіях важливе значення відводять застосуванню ефективних біопрепаратів, які не чинять шкоди довкіллю, оздоровлюють екосистему й водночас збільшують урожайність, зменшуючи собівартість продукції [2].

Завдяки бактеризації забезпечується активніше засвоєння та залучення до конструктивного метаболізму біогенних елементів, що призводить до збільшення вмісту складних органічних речовин в отриманій продукції [7].

Важлива роль щодо вирішення завдань підвищення урожайності належить препаратам із групи регуляторів росту рослин, адже їх використання забезпечує підвищення врожайності, а також є ефективним та безпечним засобом захисту культур від складних умов під час вирощування [5, 6].

Стосовно використання регуляторів росту дуже потрібною є інформація щодо їх дії на рослини під час вегетації. Зазвичай в рекомендаціях зазначають рівень зростання урожайності внаслідок обробки РРР. Але на які показники крім кінцевого ще мають вплив ці речовини потрібно досліджувати. При вирощуванні моркви складно визначити площу листової поверхні, тому підраховують кількість листків та визначають їх масу по відношенню до маси рослини. Особливості кожного сорту та гібриду теж потрібно враховувати, як реакцію на умови вирощування.

Дослідженнями Вдовиченко І.П. різних гібридів моркви було встановлено: більш розвинений листовий апарат в гібриду Абако F1, що забезпечило формування більшого в ваговому відношенні коренеплоду – 135 г.

Найвища урожайність моркви в Україні була в 2014 році і становила 203,3 ц/га [10].

Але потенційні можливості цієї культури є значно вищими. Передові господарства отримують близько 100 т/га коренеплодів моркви. Тому виникає потреба вивчення впливу рістрегулюючих речовин на формування урожайності цієї овочевої культури.

За даними Романюк Н. та ін. допосівна обробка насіння моркви сортів Ланге Роте Штумпфе і Карлена регуляторами росту івін та емістим С, як і замочування насіння у воді приводить до інтенсифікації процесів проростання і стимуляції початкового росту рослин. У польових умовах ефект застосування досліджуваних препаратів значно залежить від способу застосування, сорту рослин і погодних умов. Загалом застосування регуляторів росту сприяло стимулюванню початкового росту рослин та пришвидшенню проходження фаз онтогенезу рослин.

Застосування регуляторів розвитку рослин стимулюючого напрямку дії впливає на розвиток вегетативних органів, формування елементів врожаю, підвищує стійкість рослин до несприятливих факторів середовища, а також створює технологічні переваги при зборі врожаю. Регуляція росту рослин

за рахунок екзогенного внесення стимуляторів розвитку є перспективним шляхом підвищення продуктивності сільськогосподарських культур [7].

Використання в практиці сільського господарства регуляторів росту рослин з різним механізмом дії є вигідним і в перспективі дає можливість забезпечити високий економічний ефект. Застосовуючи рістрегулювальні речовини, варто враховувати токсикологічні оцінки діючих речовин і препаративних форм, а також звертати увагу на надходження і трансформацію препаратів у рослині, ґрунті та воді, їх дію на мікрофлору ґрунту, хімічні показники і біологічну цінність сільськогосподарської продукції [11].

Виклад основного матеріалу. Метою наших досліджень було вивчення впливу регулятора росту рослин Марс ЕЛ на показники за вирощування гібридів столової моркви Абако та Канада: схожість насіння в лабораторних й польових умовах, інформація про рослини біометрична, товарність і врожайність коренеплодів. Виконували комплекс досліджень із використанням наступних методів: лабораторний, польовий, розрахунковий, аналітичний. Згодом системно узагальнили отримані результати.

Дослідження проводилися із ранньостиглим гібридом Абако та середньопізним гібридом Канада. Розмір облікової площі ділянок складав 5 м², повторність була триразовою. Визначали біометричні показники рослин моркви із настанням фази пучкової продукції та під час технічної стиглості. Обліковували отриманий урожай з кожної ділянки окремо. Одночасно коренеплоди моркви розділяли за товарністю. Статистична обробка отриманих даних здійснена методом дисперсійного аналізу (за Б. О. Доспеховим).

Схема досліду включає в себе:

Варіант 1: намочували у воді насіння моркви (контроль),

Варіант 2: регулятором росту Марс ЕЛ (0,2 мл/кг) обробляли насіння,

Варіант 3: регулятором росту Марс ЕЛ обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 1 раз обприскували рослини після появи сходів (по 5 мл/100 м²),

Варіант 4: регулятором росту Марс ЕЛ обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 3 рази із інтервалом у 10 днів обприскували рослини впродовж вегетації (по 3 мл/100 м²).

Погодні умови для вирощування моркви столової в 2018 р. були складними. Квітень характеризувався як жаркий та посушливий місяць. Травень забезпечив помірні температурні показники та часті, але дрібні опади. Під час другої декади червня були грозові дощі з підвищенням температури вдень до 32–35⁰ С. Протягом липня випадали рясні опади під час спекотної погоди. Серпень був сухим та жарким.

Ґрунтовий покрив дослідної ділянки сірий лісовий із вмістом гумусу 2,5 %. У досліді технологія вирощування моркви була загальноприйнятою [3].

Основні результати дослідження. Через високий вміст ефірних олій, які гальмують проростання насіння моркви, доводиться довго чекати появи її сходів. Для стимуляції проростання насіння з

метою одержання дружних сходів використовують регулятори росту рослин. Також вони рекомендовані для того, щоб усунути негативну дію на культурні рослини різних несприятливих чинників упродовж всього вегетаційного періоду.

Під час експерименту було встановлено, що інгібітори проростання насіння знижували свою дію внаслідок його передпосівної обробки регулятором росту Марс EL (табл. 1).

Таблиця 1
Схожість насіння моркви посівної в залежності від застосування регулятора росту Марс EL, % (2018 р.)

Варіант	Схожість, %	
	лабораторна	польова
Гібрид Абако		
1- намочували у воді насіння моркви (контроль)	76	70
2- регулятором росту Марс EL (0,2 мл/кг) обробляли насіння	88	80
Гібрид Канада		
1- намочували у воді насіння моркви (контроль)	77	69
2- регулятором росту Марс EL (0,2 мл/кг) обробляли насіння	88	80

Зокрема, у контрольному варіанті лабораторна схожість насіння була 77 % для обох дослідних гібридів. Схожість насіння столової моркви після замочування в розчині Марс EL зростала.

В польових умовах схожість на цьому ж варіанті характеризувалася дещо нижчими показниками – 70% для гібриду Абако та 69% для гібриду Канада. Коли перед посівом обробляли насіння моркви PPP Марс EL з нормою витрати 0,2 мл/кг, то лабораторна схожість його досягла 88 %. Польова схожість насіння була 80 %, що переважало показники контрольного варіанту на 10% для Абако та 11% для Канада.

Також було встановлено, що обробка PPP Марс EL дає стимулюючий ефект та має позитивний вплив на формування листя моркви. На початку

її вегетації було відмічено більш швидке нагромадження вегетативної частини рослин у дослідних варіантах.

Внаслідок застосування PPP Марс EL у рослин моркви збільшувалась кількість та маса листків. Під час пучкової стиглості моркви в рослин обох дослідних гібридів на 1-4 шт. чисельність листків була більшою, ніж у контрольному варіанті. Збільшення фотосинтетичного апарату забезпечує інтенсивніше формування органічної речовини, що на кінцевому етапі вегетації відображається зростанням урожайності коренеплодів.

На час технічної стиглості моркви різниця в чисельності листя між дослідними варіантами та контролем становила 1-3 шт. в гібриду Абако та 1-4 шт. в гібриду Канада (табл. 2).

Таблиця 2
Показники кількості та маси листя рослин моркви в залежності від застосування PPP Марс EL (2018 р.)

Варіант	У фазу пучкової стиглості		У фазу технічної стиглості	
	кількість листків, шт. на 1 рослину	% маси листків до загальної маси рослин	кількість листків, шт. на 1 рослину	% маси листків до загальної маси рослин
Гібрид Абако				
1 - намочували у воді насіння моркви (контроль)	11	16,2	9	4,4
2 - регулятором росту Марс EL (0,2 мл/кг) обробляли насіння	12	16,4	10	4,6
3 - регулятором росту Марс EL обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 1 раз обприскували рослини після появи сходів (по 5 мл/100 м ²)	14	17,1	11	4,9
4 - регулятором росту Марс EL обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 3 рази із інтервалом у 10 днів обприскували рослини впродовж вегетації (по 3 мл/100 м ²).	15	16,9	12	5,0
Гібрид Канада				
1- намочували у воді насіння моркви (контроль)	11	16,6	9	4,5
2- регулятором росту Марс EL (0,2 мл/кг) обробляли насіння	12	16,8	10	4,7
3- регулятором росту Марс EL обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 1 раз обприскували рослини після появи сходів (по 5 мл/100 м ²)	13	17,1	12	5,1
4- регулятором росту Марс EL обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 3 рази із інтервалом у 10 днів обприскували рослини впродовж вегетації (по 3 мл/100 м ²).	15	18,9	13	5,3

Зниження частки маси листків по відношенню до загальної маси рослини відбувається внаслідок посиленого росту та збільшення ваги коренеплоду. Це пояснюється також і закінченням вегетації та всиханням листя.

Відношення листкової маси до загальної маси рослин моркви в пучковій стиглості складало 16,4–16,9 % в гібриду Абако та 16,8-18,9 % в гібриду Канада. Під час технічної стиглості моркви відно-

шення маси листя до загальної маси рослин становило було 4,6–5,0 % в гібриду Абако та 4,7-5,3 % в гібриду Канада.

Результатами проведених досліджень підтверджено ефективність використання регулятора росту Марс ЕЛ при вирощуванні гібридів моркви Абако та Канада.

Врожайність коренеплодів моркви гібриду Абако коливалася від 47,1 т/га у контрольному варіанті до 51,7 т/га на варіанті обробки Марс ЕЛ насіння та 3-разового обприскування рослин (табл.3).

Таблиця 3

Врожайність та товарність коренеплодів моркви столової в залежності від застосування регулятора росту рослин Марс ЕЛ (2018 р.)

Варіант	Врожайність, т/га	+до контролю, т/га	Товарність %
Гібрид Абако			
1 - намочували у воді насіння моркви (контроль)	47,1	-	83
2 - регулятором росту Марс ЕЛ (0,2 мл/кг) обробляли насіння	49,0	+ 1,9	85
3 - регулятором росту Марс ЕЛ обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 1 раз обприскували рослини після появи сходів (по 5 мл/100 м ²)	50,2	+ 3,1	87
4 - регулятором росту Марс ЕЛ обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 3 рази із інтервалом у 10 днів обприскували рослини впродовж вегетації (по 3 мл/100 м ²).	51,7	+ 4,6	89
Гібрид Канада			
1 - намочували у воді насіння моркви (контроль)	50,3	0	83
2 - регулятором росту Марс ЕЛ (0,2 мл/кг) обробляли насіння	52,3	+ 2,0	85
3 - регулятором росту Марс ЕЛ обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 1 раз обприскували рослини після появи сходів (по 5 мл/100 м ²)	53,8	+ 3,5	87
4 - регулятором росту Марс ЕЛ обробляли насіння (0,2 мл/кг) та 3 рази із інтервалом у 10 днів обприскували рослини впродовж вегетації (по 3 мл/100 м ²).	57,4	+ 7,1	90
НІР ₀₅	2,6		

Урожайність коренеплодів моркви гібриду Канада була від 50,3 т/га (вар. 1) до 57,4 т/га (вар. 4). Використання регулятора росту рослин Марс ЕЛ забезпечило підвищення урожайності гібриду Абако від 1,9 т/га до 4,6 т/га, а гібриду Канада – від 2,0 т/га до 7,1 т/га.

На варіанті, де використовували регулятор росту Марс ЕЛ для намочування насіння та тричі впродовж вегетації обприскували культурні рослини було зафіксовано найвищий рівень урожайності. Отримали на ділянках, де вирощували гібрид Абако 51,7 т/га, а на ділянках, де вирощували гібрид Канада – 57,4 т/га. Показник товарності коренеплодів моркви підвищився на 6 % у цьому варіанті.

Підсумовуючи все вище зазначене ми становили, що обробка Марс ЕЛ позитивно вплинула на проростання насіння, ріст і розвиток рослин та підвищила продуктивність й товарність моркви. Ця інформація узгоджується із літературними даними щодо дії регуляторів росту.

Висновки. 1. Схожість насіння моркви після замочування в розчині Марс ЕЛ зростала на 10% у гібриду Абако та 11% у гібриду Канада.

2. Внаслідок застосування РРР Марс ЕЛ у рослин моркви збільшувалась кількість листків на 1-3 шт. в гібриду Абако та на 1-4 шт. в гібриду Канада із розрахунку на одну рослину.

3. Використання регулятора росту Марс ЕЛ для намочування насіння та обприскування тричі впродовж вегетації культурних рослин забезпечило найвищий рівень урожайності в досліді. Отримано на ділянках, де вирощували гібрид Абако 51,7 т/га, та на ділянках, де вирощували гібрид Канада – 57,4 т/га.

4. Підвищило товарність коренеплодів моркви застосування РРР Марс ЕЛ на 6 % у варіанті застосування регулятора росту Марс ЕЛ для намочування насіння та обприскування ним культурних рослин тричі впродовж вегетації.

Список літератури

1. Вдовиченко І. П. Урожайність і якість коренеплодів моркви столової зарубіжної селекції. Norwegian Journal of development of the International Science 2020. № 41. С. 7-10.

2. Вдовенко С.А. Комплексна система вирощування овочів у відкритому ґрунті. Плантатор. 2019. №2. (44) С. 56-59.

3. ДСТУ 6014-2008. Морква і буряк столовий. Технологія вирощування. Загальні вимоги. [Введ. в дію 2009-04-01]. Держспоживстандарт України, 2009. 18 с. (Національний стандарт України).

4. Макогон В.В. Екологічно безпечні технології в галузях АПК. Актуальні проблеми агрохімії та

грунтознавства. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Львів, 2016. С. 376-381.

5. Окрушко С.Є. Вплив стимуляторів росту на врожайність столових буряків та моркви. Вісник ХНАУ. Харків. 2016. № 2. С. 109–114.

6. Окрушко С.Є. Вплив стимуляторів росту на урожайність овочевих культур. Збірник наукових праць ВНАУ. 2017. № 5. С. 34–39.

7. Повх О. В. Формування показників біопродуктивності моркви столової під впливом органічного ферментованого добрива та мікробіологічного препарату. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2014. № 4. С. 111-114.

8. Романюк Н., Думанчук Н., Думанчук Я., Скворонська І., Закорчемна О., Терек О. Вплив регуляторів росту івіну та емістиму С на ріст та врожайність рослин моркви (*Daucus sativus*). Вісник

Львів. ун-ту. Серія біологічна. 2002. Вип. 31. С. 283-292.

9. Сидора В.В. Маркетингові аспекти формування та розвитку ринку овочевої продукції. Збірник тез міжнародної науково-практичної конференції: «Сучасний стан та перспективи розвитку овочівництва». 2017. С. 161-166.

10. Статистичний збірник «Рослинництво України». К., 2019. 220 с.

11. Ткачук О.О. Екологічна безпека та перспективи застосування регуляторів росту рослин. Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2014. №3 (114). С. 41-44.

12. Ходаніцька О.О., Колісник О.М. Застосування стимуляторів розвитку в практиці рослинництва. Materiály XVI Mezinárodní vědecko - praktická konference «Moderní vymoženosti vědy». Praha. 2020. С. 45-49.

ТЕНДЕНЦІЇ ПІДЖИВЛЕННЯ РОСЛИН ЗА НОВИХ ВИРОБНИЧИХ УМОВ

Томчук В.В.

*асистент кафедри агроінженерії та технічного сервісу
Вінницький національний аграрний університет*

TRENDS OF PLANT FERTILIZATION UNDER NEW PRODUCTION CONDITIONS

Tomchuk V.

*Assistant of Professor
of the Department of Agricultural Engineering and Technical Service
Vinnitsia National Agrarian University,
Ukraine*

Анотація

У статті досліджено перевагу рідких мінеральних добрив перед твердими гранульованими в ситуації з недостатнім зволоженням ґрунту. Виявлено, що за відсутності вологи, гранули розчиняються не зразу і можуть пролежати в землі кілька місяців, рідкі ж добрива – навпаки швидко проникають в ґрунт і починають негайно засвоюватись рослинами. Обґрунтовано, що застосування рідких мінеральних добрив допомагає вирішувати проблему із забезпеченням рослин азотом. Проаналізовано різні способи внесення розчинів азотних добрив в ґрунт від безводного аміаку до фертигації і зазначено, що найбільш безпечним і раціональним способом є внесення азоту у вигляді КАС і рідких комплексних добрив. Розглянуто конструкції машин та інноваційні технології внесення рідких мінеральних добрив.

Abstract

The article examines the advantage of liquid mineral fertilizers over solid granular ones in the situation with insufficient soil moisture supply. It has been found that under the absence of moisture, the granules do not dissolve immediately and can lie in the ground for several months, while liquid fertilizers, on the contrary, quickly penetrate into the soil and begin to get absorbed by plants immediately. It is substantiated that the use of liquid mineral fertilizers helps to solve the problem of plant supply with nitrogen. Various methods of applying solutions of nitrogen fertilizers in the soil from anhydrous ammonia to fertigation are analyzed and it is noted that the safest and the most rational practice is to apply nitrogen in the form of carbide-ammonia mixture and liquid complex fertilizers. Machine constructions and innovative technologies of application of liquid mineral fertilizers are considered.

Ключові слова: тверді та рідкі мінеральні добрива, ефективність удобрення, способи внесення, засоби механізації, система SpikeWheel, фертигація.

Keywords: solid and liquid mineral fertilizers, fertilizer efficiency, methods of application, mechanization tools, SpikeWheel system, fertigation.

Постановка проблеми. Нині, виробництво та раціональне використання добрив є надзвичайно актуальним для агропромислового комплексу, а для науки – поштовхом для пошуку нових видів складних добрив, головним чином за дефіциту традицій-

них органічних добрив і подорожчання мінеральних, особливо це стосується азотних. В асортименті азотних добрив, що використовуються в усіх ґрунтовокліматичних зонах, переважають аміачна селітра, карбамід та їх суміш (КАС). Вони трансформуються в системі ґрунт-рослина і активно

включаються в загально біологічний кругообіг азоту, забезпечуючи потреби вегетуючих рослин в азоті. Але поряд з відомими перевагами, ці форми азотних добрив мають істотні недоліки – високу розчинність у воді, підвищене вимивання з орного шару нітратів, що призводить до забруднення поверхневих і підґрунтових вод, а аміак, що випаровується, пригнічує ріст рослин. Крім того, застосування високих доз добрив часто пов'язане з накопиченням у сільськогосподарській продукції, а також у ґрунті, значної кількості нітратного азоту, що призводить до зниження якості продукції.

Застосування добрив не тільки позитивно впливає на ріст і розвиток рослин, підвищує схожість та енергію проростання, а також стимулює коренеутворення, сприяє підвищенню врожайності культур та якості сільськогосподарської продукції.

Аналіз досліджень і публікацій. Вплив добрив на ріст і розвиток рослин залежить від сорту та рівня живлення, повноцінний режим якого більше від інших факторів впливає на насінневі, продовольчі та якісні показники. Дослідженнями проведеними науковцями в різних ґрунтово-кліматичних умовах доведено, що добрива сприяючи підвищенню врожайності, одночасно можуть поліпшувати або погіршувати якість сільськогосподарської продукції. Це залежить від ряду факторів: дози, співвідношення, форми, строків та способів внесення добрив, погодних умов тощо.

Вітчизняні науковці вказують про перевагу рідких мінеральних добрив, зокрема КАС, за ефективністю над класичними гранульованими, твердими азотними добривами [1], зазначаючи при цьому про покращення забезпеченості рослин азотом від застосування КАС [2]. П.А. Горшков та Г.П. Жемела, які тривалий час вивчали ефективність застосування азотних добрив вказують на те, що рослини пшениці озимої поглинають 2/3 всієї кількості азоту у період від часу весняного відновлення вегетації до початку колосіння [3, 4]. Оскільки рідкі азотні добрива типу КАС містять одразу три форми азоту (нітратну, амонійну та амідну) виникає зацікавленість у внесенні його в різні технологічні етапи при вирощуванні культур і порівняно з іншими азотними добривами, як аміачна селітра та карбамід. Мікроелементи здатні підвищувати схожість та посилювати розвиток рослин. Однак багато аспектів цієї багатогранної проблеми залишаються невирішеними й потребують наукового обґрунтування.

Формулювання цілей статті. Метою статті є висвітлення результатів аналізу застосування рідких мінеральних добрив і засобів їх внесення в аграрних підприємствах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Режим живлення рослин - дуже важливий аспект високого і якісного врожаю сільськогосподарських культур.

М.С. Чижова, А.І. Денисенко, В.Н. Рибіна В.Н. зазначають, що останнім часом збіднення ґрунтів пов'язано зі слабким ресурсним забезпеченням, коли органічних добрив вносять недостатньо через

практичну відсутність традиційного напівперепрілого гною. Не забезпечує поповнення ґрунту органікою і сучасний добір сільськогосподарських культур внаслідок порушення науково обґрунтованих сівозмін з включенням багаторічних бобових рослин. До того ж, відомо, що бобові культури здатні розсолювати ґрунт, структурувати його, розчиняти важко закріплені (фіксовані ґрунтом) сполуки фосфору [5].

Глобальний попит на добрива у світовій індустрії стрімко зростає з 50-х років ХХ сторіччя. Використання добрив між 1950 і 1988 рр. збільшилося з 14 млн до 144 млн т., за очікуваннями IFA у 2019/20 рр. Досягне 200 млн тонн.

За даними ФАО ООН, фактичний рівень застосування мінеральних добрив у країнах світу неоднаковий. Найвищим цей показник є у Нідерландах, де на 1 га вносять 258 кг, у Великобританії – 247 кг, Ізраїлі – 240 кг, Німеччині – 202 кг, Білорусі – 194 кг, Польщі – 176 кг, Франції – 169 кг, Чехії – 153 кг, США – 137 кг д. р. мінеральних добрив [6].

Добрий урожай сільськогосподарських культур вдається за сприятливого збігу в дії різних факторів. При тотожності окремих умов вирощування культур фахівці готові віддати 5% значущості на технологію обробітку ґрунту, 20% - на сорт і досконалий посів, далі йдуть погода, захист рослин, людський фактор, чверть важливості припадає на підживлення рослин.

Роль внесення мінерального живлення рослин в Україні нині набуває нового звучання. Якщо раніше у більшості господарств вважалось достатнім розсипати гранули по полю і приорати їх, а навесні внести в ґрунт селітру чи позакоренево карбамід, то сьогодні після значних кліматичних змін до підвищення температур, зменшення опадів до рівня цілорічної посухи, такий підхід не діє. Причина в тому, що добрива зростають в ціні і постійно впроваджуються нові пріоритети і результативніші технології. Щоб залишатись конкурентними, виробники мусять ретельно рахувати кошти, особливо за умов введення ринку землі.

Залежно від виду добрив, їх ефективність може бути набагато вищою відповідно до строків та технологій внесення. Якщо говорити про найбільш ефективні способи мінерального живлення рослин, то необхідно згадати про регулярне внесення органіки, яка останнім часом через відсутність тваринництва і відмову від посівів багаторічних бобових трав може надходити в ґрунт при правильному використанні соломи і пожнивних решток [7].

Наразі у застосуванні мінеральних добрив найбільш технологічно й економічно вигідними є їх рідкі форми, які забезпечують різке зменшення втрат порівняно з туками, повну механізацію навантажувально-розвантажувальних робіт, високу рівномірність розподілення в ґрунті, поліпшення санітарно-гігієнічних умов, зменшення витрат праці [8].

Інтерес до рідких форм добрив бере свій початок ще з античних часів, коли фермери Греції, Китаю та інших країн транспортували рідкі органічні

відходи на поля. Як уже зазначалося вище, комерційний інтерес до виробництва рідких добрив з'явився на початку ХХ ст., спочатку для внесення у гідропонію і фертигації, а вже с середини сторіччя – для прямого внесення в ґрунт. Проте, відставання у технологічних рішеннях для їх внесення обмежували використання [9].

Ще Ю. фон Лібіх, який розробив теорію мінерального живлення рослин наголошував, що відсутність чи нестача одного поживного елементу при наявності в ґрунті всіх інших робить його неефективним для належного росту і розвитку рослин. Ґрунт забезпечує високий рівень урожайності, якщо містить поживні елементи в потрібному вигляді та кількості.

Рідкі мінеральні добрива останнє десятиліття завдяки різним факторам і не в останню чергу через зміни клімату, що спричинили появу безплужного обробітку ґрунту, поступово повернулись на поля. І, якщо в старі часи вносили аміачну воду і безводний аміак восени під оранку, а влітку вносили аміачну воду і водорозчинні суміші під буряки та інші просапні, то нині рідкі добрива вносять і при підготовці ґрунту, і при посіві, і при догляді за культурами, і при внесенні засобів захисту, і при зрощенні.

Добрива поділяють на різні групи, беручи до уваги різні їх ознаки і властивості. За походженням бувають природні і штучні. За хімічним складом вони бувають органічні, мінеральні та бактеріальні. Мінеральні добрива за вмістом сполук поділяють на прості, комплексні і мікродобрива. За характером дії розрізняють добрива прямої та опосередкованої дії. За фізичним станом – рідкі та тверді. Тверді мінеральні добрива застосовують у вигляді гранул.

У сучасному сільському господарстві серед мінеральних добрив використовуються прості азотні, фосфорні і калійні добрива, а також комплексні та мікродобрива. Класично всю суму добрив, внесених під культуру за вегетацію поділяють на основне добриво, що вноситься з осені під основний обробіток і додаткове, що вноситься при посіві і догляді за культурою. При переході на пряму сівбу основне навантаження по внесенню добрив припадає на процес сівби. Завчасно закладають в ґрунт добрива довготривалої дії.

За умов дефіциту вологи увага виробників все більше зосереджується на рідких мінеральних добрива – РМД. Це пов'язано з тим, що їх виробництво обходиться дешевше і вони краще розподіляються при підґрунтового внесенні. РМД краще зберігаються, транспортуються, точно дозуються, підходять для замульчованих полів і для диференційованого адресного внесення при технологіях точного землеробства.

Крім, того, в рідких добривах менше токсичних для рослини речовин. Наприклад, при гранулюванні сечовини утворюється біурет, кількість якого визначається прямою залежністю від температури й часу нагрівання [10].

Вважаємо, що елементи живлення у таких добривах перебувають у максимально доступному

для кореневої системи рослин вигляді. Це стосується не лише усім відомих рідких видів азотних добрив і передусім широкого популярного КАС, але й РМД, до складу яких може входити оптимально підібрана лінійка макро- й елементів, починаючи з фосфору і калію та закінчуючи незамінними для багатьох культур бору, цинку, молібдену тощо.

КАС – це суміш водних розчинів аміачної селітри та карбаміду (у співвідношенні 35,4% карбаміду, 44,3% селітри, 19,4% води, 0,5% аміачної води). Густина рідкого добрива складає до 1,34 кг/м³. КАС відрізняється якісними і кількісними позитивними особливостями дії у порівнянні з іншими формами добрив. В КАС при взаємодії з мікроорганізмами амідна форма азоту переходить у доступну рослинам амонійну форму. В процесі нітрифікації, якщо температура ґрунту досить висока для мікробної активності, амонійна форма азоту переходить у нітратну. Таким чином, під час внесення КАС, який має різні форми азоту, ми одержуємо пролонгований ефект його засвоєння рослинами. Крім того, процеси взаємного перетворення азоту в ґрунті залежать від безлічі факторів (температури, вологості, аерованості, кислотності та ін.), тому наявність різних форм азоту в ґрунті може розглядатися ще і як «страхова функція».

Після внесення КАС у ґрунт ця форма акумулюється в орному шарі й стає доступною рослині протягом вегетації. Така система засвоєння азоту робить КАС добривом швидкої й тривалої дії. КАС має широкий спектр застосування: для прикореневого підживлення рослин, основного внесення під оранку й передпосівну культивуацію, для внесення на поверхню ґрунту до або після висіву. Для стандартного листового внесення КАС рекомендовано в малих дозах. Під час внесення досягається висока точність дозування й рівномірність розміщення на поверхні ґрунту. Використання КАС можна поєднувати з мікроелементами, пестицидами, регуляторами росту рослин, що мінімізує витрату на їхнє застосування [11].

КАС не забруднює навколишнє середовище, поліпшує споживання азоту під час посухи, експлуатаційні витрати на його внесення значно нижчі, ніж інших добрив. КАС не токсичний, не пожежо- і вибухонебезпечний, що особливо актуально для селітр. Внесення КАС проводять з найбільш точною нормою внесення. Собівартість азоту в КАС найбільш низька, оскільки втрати азоту при внесенні КАС не перевищують 10% від загального азоту, тоді як при внесенні гранульованих азотних добрив досягають 30-40%.

КАС застосовують серійні машини для підживлення рідкими добривами ПЖУ-2,5, ПЖУ-5, ПЖУ-9; обприскувачі ОП-2000-2-0 І; автомобільні напівпричепи ГКБ-9653, ГКБ-9677, ППЦУ-9370; тракторні заправники ОЗТП-9625 та ОЗТП-9654, а також переобладнані цистерни РЖ І-8 зі штангою АША-15, АРУП-8, РЖТ-4, ХТС-100,27 тощо [11].

Кращий час для позакореневого підживлення розчинами КАС - ранкові (якщо немає роси) та вечірні години. У прохолодну й похмуру погоду

працювати можна протягом дня. Не слід підживлювати рослини розчинами КАС, якщо температура вища за 20°C, низька відносна вологість повітря або день сонячний: можливі опіки листової поверхні рослин (найуразливіше молоде листя). В усі фази розвитку рослин розчини КАС (навіть у дозі 10 кг азоту/га) спричиняють незначні опіки рослин, але це не призводить до зниження врожаю [11].

Готовність РМД негайно вступити в дію забезпечує вимогу своєчасності живлення рослин відповідно до фаз розвитку, а відмінне дозування економить ресурси.

Всі складності в процесах внесення мінеральних добрив сконцентровані навколо внесення азоту. Азот швидко вивірюється або вимивається з ґрунту залежно від форми, в якій перебуває в ґрунті. Головними контролерами затримки і споживання азоту в ґрунті є волога, температура і швидкість наростання кореневої системи культури. Останній чинник спонукає до дроблення норми внесення азоту, застосування прикорневих технологій внесення і внесення по листу.

Найбільшої відповідальності і дотримання регламенту вимагає внесення безводного аміаку. Це добриво містить 82,2% азоту і має дуже цінні супутні переваги перед твердими добривами тому, що має лужну реакцію і розкислює ґрунт, а також дезинфікує ґрунт вбиваючи гризунів, личинки шкідників і збудників хвороб.

Внесення безводного аміаку характеризується рівномірним розподіленням його в шарі ґрунту, а також більшою доступністю активної речовини рослини. Під впливом безводного аміаку в ґрунті зростає кількість рухливих форм фосфору, калію й мікроелементів, що поліпшує режим рослинного живлення.

Добриво під новий урожай вносять тоді, коли середньодобова температура не перевищує 10°C і процеси нітрифікації уповільнені. В разі внесення аміаку при температурі вище 16°C можливе інтенсивне утворення нітратів і вимивання їх опадами. При недостатній вологості аміак не зв'язується в ґрунті і випаровується.

Застосовують рідкий азот під усі культури і вносять восени по прокультивованій на глибину 18-20 см глибокій оранці.

Ми переконані, що крім перерахованих переваг існують суттєві недоліки застосування безводного аміаку. Оскільки безводний аміак – це газ, який зберігається у зрідженій формі під тиском, необхідне спеціальне обладнання для його застосування та спеціально навчений персонал, а також технологія не підходить для мінімальної і нульової технологій.

На всіх стадіях роботи добриво становить великий ризик для здоров'я людей, якщо не дотримуватися належних запобіжних заходів. Внесення безводного аміаку проводять спеціальним сертифікованим обладнанням спеціалізовані фірми. Логістика добрива складна, вимагає узгоджень із заводом-виробником і фірмою підрядником, а також наявність дозвільних документів від контролюючих органів.

Така технологія удобрення культур доступна великим господарствам тому, що перевага від внесення добрива настає від застосування на площі від однієї тисячі гектарів і більше. Сума виграшу становить 30-35% на одиницю внесеного азоту [12].

На другому місці за складністю організації знаходиться аміачна вода. Аміачна вода – високоефективне рідке мінеральне добриво для зернових, технічних та овочевих культур, картоплі, цукрових буряків, багаторічних трав тощо. За впливом на врожай аміачна вода не поступається твердим аміачно-нітратним добривам, а у посушливі роки навіть перевершує їх. Це розчин технічного аміаку у воді лужної реакції, в якому частка аміаку становить не менше 23-25%.

Аміачну воду при внесенні у ґрунт можна використовувати під всі сільськогосподарські культури при обов'язковому її закладанні на глибину 10-15 см, а на ґрунтах легкого механічного складу – на всю глибину орного шару. Аміачна вода сильно зв'язується ґрунтом і при внесенні восени не вимивається атмосферними опадами. Азот аміаку краще утримується ґрунтом, ніж амонійний азот твердих добрив.

Перед сівбою зернових та інших культур вузькорядної сівби вносити аміачну воду необхідно машинами з більш вузьким розміщенням сошників (20-25 см), при внесенні під польові культури просапного типу аміачну воду вносять до середини міжрядь або на відстані 15-20 см від рядків. Рекомендовані дози внесення під зернові – 40-60 кг/га, під технічні культури – 60-90 кг/га і під овочеві – 50-70 кг/га діючої речовини (азоту) на фоні фосфорно-калійних добрив та гною.

Завдяки миттєвому засвоєнню рослинами водорозчинного азоту аміачна вода є економічним та ефективним рідким добривом. Разом з цим аміачна вода сприяє знищенню шкідників.

Аміачна вода вважається високоефективним добривом, призначеним для багаторічних трав, овочевих та зернових культур, буряка та картоплі. NH₄OH – це 25% розчин аміаку в воді. При цьому рідина має різкий запах нашатирного спирту та вміщує в собі 20,5% азоту.

Така жовтувата або безбарвна рідина використовуються для будь якого виду ґрунтів та багатьох типів рослин, але обов'язковою умовою вважається загортання її в землю на глибину близько 15 см. При цьому азот даного добрива краще утримується ґрунтом на відміну від амонійного азоту твердих речовин. Аміак, розведений в воді, часто використовують, обробляючи ґрунт під час передпосівної культивування та з метою підживлення просапних культур.

Вважаємо, що водний аміак дуже легко засвоюється сільськогосподарськими культурами, при цьому його просто вносити, що сприятиме відлякуванню шкідників. Однією з переваг використання такого добрива являється скорочення трудових витрат, оскільки всі процеси його транспортування, внесення та зберігання механізовано. Тим

більше речовина обійдеться дешевше, ніж інші такого призначення. При цьому вона невибухонебезпечна та негорюча.

Зберігати такий препарат варто в сталевих цистернах, герметично закритих. Важливо пам'ятати, що при роботі з аміачною рідиною потрібно дотримуватись всіх правил безпеки, оскільки токсини можуть пошкодити дихальні шляхи та слизову оболонку очей.

Добриво, завдяки лужній реакції азоту, зможе добре розкислювати ґрунти. А рідка форма дозволить рівномірно та ефективно вносити його на полях великої площини та на необхідну глибину. Також перевагами аміачної води можна назвати: низький тиск, необмежений термін зберігання, нездатність руйнувати чорний метал, схильність замерзання при температурі -56°C тощо.

У СРСР у 80-х роках на поля вносили близько 40% азотних добрив у вигляді аміачної води. В США вносять до 50% азотних добрив у рідкому вигляді, в Україні лише близько 15% господарств застосовують аміачну воду [13].

Ця цифра зумовлена браком техніки та обладнання для зберігання, транспортування та внесення її у ґрунт. Використовувати аміачну воду в радіусі 20–30 км від постачальника доцільно за прямою схемою: постачальник – поле. Аміачну воду перевозять автомобільним або тракторним транспортом. Для зберігання аміачної води використовують сталеві цистерни, що герметично зачиняються. Допускається використання цистерн з-під дизельного палива. У поле аміачну воду найчастіше доставляють тракторними причіпними цистернами (8–10 м³), обладнаними для примусового заправлення культиваторів через герметичні легкознімні муфти. Задля зменшення просторів транспортних засобів рекомендується встановлювати польові ємності у 25–50 м³ і проводити заправку культиваторів просто з ємностей.

Для внесення аміачної води використовують різні культиватори. За основного обробітку ґрунту (на глибину до 22 см) використовують навісний культиватор КУ-3А (агрегується з тракторами Т-

150К) та напівпричіпний культиватор КУ-6А (агрегується з тракторами 250–300 к.с.). Використання цих культиваторів дає змогу поєднати безполицевий обробіток ґрунту з внесенням добрив. Культиватори мають два ряди лап, диски та прикоткувальний коток. На культиваторах встановлено резервуари для аміачної води, мембранно-поршневий насос з приводом від коткувального котка та пульт управління, який дає змогу встановити потрібну норму внесення. Для кожної лапи культиватора передбачені відсікаючі пристрої, які захищають від довільного витікання аміачної води під час зупинок і розворотів агрегату. Заправка резервуарів відбувається через герметичні легкознімні муфти з кранами для виключення можливості витікання та випаровування аміаку [13].

За культивації (на глибину 10–15 см) використовують агрегати АША-2, АША-4, КПС-4 з обладнанням для внесення аміачної води, КПС-8, а також КУ-3А, КУ-6А.

За міжрядної культивації (на глибину 10–15 см) використовують просапні культиватори КРН-5,6; УСМК-5,4 з підживлювачем ЭКО-600Л, який встановлено просто на культиватор. Із допомогою нескладного переобладнання підживлювач можна використовувати для стрічкового внесення пестицидів.

Під час роботи з аміачною водою слід дотримуватись правил техніки безпеки, оскільки пари аміаку викликають подразнення слизових оболонок очей і дихальних шляхів. Кожний, хто працює з аміачною водою, має добре знати її основні ознаки, вимоги техніки безпеки та суворо дотримуватись правил зберігання, транспортування та внесення в ґрунт.

Найбільш технологічним, практичним і безпечним у застосуванні серед рідких добрив є КАСи. Ці добрива найчастіше використовують протягом весняно-літнього періоду для дробного внесення азоту та різних бакових сумішей при посіві і догляді за культурами. Розпочинає роботи опрыскавач «ROSA» на підживленні озимих рис. 1 [14].



Рис. 1. Обприскувач «ROSA»

Джерело: сформовано за [14]

Наднизький тиск на ґрунт (до 0,01МПа) дозволяє використовувати ці агрегати на слабонесучих перезволожених ґрунтах і на полях зі сходами культурних рослин у фазі куцїння без утворення технологічної колїї.

Перевагами над іншими самохідними або причіпними обприскувачами та розкидачами є те, що агрокомплекс «ROSA» здатен розпочати роботи по внесенню добрив та ЗЗР на три-чотири тижні раніше, незважаючи на погодні умови, вологу та опади. Свочасне підживлення є головним у забезпеченні високого та якісного врожаю.

Універсальність агрокомплексу «ROSA», здатність змінювати робочі модулі та чотири типи колїс дозволяє використовувати їх впродовж всього року, починаючи з першого раннього головного підживлення, друге та третє підживлення, після чого або одночасно завдяки зміні колїс забезпечує внесення ґрунтових, страхових та інших ЗЗР. Осінні роботи по внесенню рідких або твердих добрив та ЗЗР також забезпечить агрокомплекс «ROSA».

У залежності від рельєфу місцевості виробники пропонують своїм клієнтам обприскувачі шириною захвату 20 метрів або 24 метри.

Агрокомплекс «ROSA» відрізняє висока продуктивність – система паралельного водіння, система контролю внесення, робочі швидкості підтверджені реальними польовими випробуваннями в діапазоні від 15 до 50 км/год., тобто в 2-3 рази вище за агрегати на базі колїсних тракторів, витрати палива до 0,2л/га. [14].

Новим інноваційним рішенням на ринку внесення рідких препаратів стала американська інжектора система SpikeWheel, для введення рідких добрив та ґрунтових інсектицидів.

Незалежно від виробника, принцип роботи усіх інжекторних машин подібний. Зазвичай це колеса, що виготовлені з алюмінію та нержавіючої сталі. Кожне колесо має 12 шпич з твердого сплаву. Саме через шпичі рідке добриво закладається в ґрунт на глибину 6 см. Шпичі працюють за принципом шприцу: тиск в 1,5-8 бар вичавлює в ґрунт добрива, які надалі діють на культуру через коріння під час всього вегетаційного періоду. Тиск на один ін'єкційний шип складає 45 кг на 1 см² - це дозволяє вносити добрива навіть на поля під no-till та strip-till. Простіше кажучи, велика кількість пожнивних решток не впливає на заглиблення машини в ґрунт (рис. 2).



Рис. 2. Секція американської інжекторної системи SpikeWheel

Джерело: сформовано за [15]

Інноваційну систему SpikeWheel характеризує виконання за один прохід підживлення рідкими добривами та розпушування ґрунту за принципом ротаційної борони. Крім того, цей вид внесення добрив забезпечує добрий розвиток кореневої системи та ідеально пасує під мульчування та пряму сівбу, оскільки рідкі добрива діють у кореневій зоні та не втрачаються через стикання або випаровування. Також ефект ротаційної борони справляє позитивний вплив, надто це помітно на глинистих ґрунтах. За рахунок того, що добрива не застосовують поверхнево, зростання бур'янів також знижується.

Застосування КАС при посіві технічних культур дає змогу отримувати дружні сходи, сприяє формуванню розвиненої кореневої системи і в підсумку позитивно впливає на збільшення врожайності. Результати особливо яскраво проявляються на просяних культурах, насамперед на кукурудзі.

Застосування КАС практикується при листовому підживленні, однак внесення його у ґрунт одночасно з посівом також дає гарний ефект. Експерименти, проведені в різних наукових сільгоспуставах довели, що припосівне добриво, внесенне на старті росту культури для задоволення потреби рослин в елементах живлення в період від проростання до появи повних сходів допомагає сформувати розвинену кореневу систему в більш стислий термін і сприяє розвитку в молодих рослин стійкості до посухи, шкідників, хвороб, бур'янів.

При адресному внесенні припосівного добрива зростає ефективність його використання. Особливо це стосується фосфатів. Значного поширення адресне внесення набуло у тих виробників, які застосовують ресурсозберігаючі технології посіву No-till і Mini-till.

Загалом при роботі за такими технологіями перед аграріями постає проблема внесення добрив як

таких: якщо ґрунт не підготовлений механічно, то як вносити добрива? Єдиним варіантом є внесення їх відразу ж під час сівби.

Найбільш важливими елементами для припосівного внесення агрономи називають фосфор і азот. У початковий період росту – перших двох тижнів після проростання насіння – у рослин спостерігається підвищена потреба у фосфорі, оскільки він бере участь у процесах синтезу й гідролізу вуглеводів, а фосфорна кислота – в синтезі амінокислот у рослинах. Фосфор в РКД присутній у вигляді орто- і поліфосфатів у повністю засвоюваній формі.

Зрозуміло, що ґрунт має містити необхідний для закладення основ урожаю запас доступних рослинам поживних речовин. Накопичення їх у ґрунті до посіву за рахунок мобілізації природних запасів у деяких регіонах ускладнене через брак вологи в літньо-осінні місяці. Особливо низькими запасами рухливих форм елементів живлення характеризуються поля, на яких вирощувалися культури з пізнім збиранням. Саме тому в таких зонах ефективно працює припосівне рідке добриво [10].

Представники господарств це також почали розуміти. І особливо ця тема актуальна в регіонах із дефіцитом вологи й невисокими врожайми.

Там, де ґрунт має бути закритий мульчею, при внесенні добрив поверхнево азот насамперед буде засвоюватися мікроорганізмами для розкладання рослинних залишків, що містяться у верхньому шарі.

З кожним роком зростають продажі машин, доукомплектованих системою для рідкого внесення добрив. Також спостерігається підвищення попиту на сівалки із внесенням рідких добрив. Багато аграріїв уже хочуть мати в базовій комплектації сівалки опцію внесення рідких добрив.

У регіонах із достатнім зволоженням мінеральні добрива, навіть внесені при посіві у вигляді

гранул, досить швидко отримують бажану вологу і, розчинившись, надійдуть до коріння. А в посушливих регіонах сівба ярих культур відбувається, як правило, в умовах значного дефіциту вологи, і внесення гранульоване добриво може зв'язувати значну кількість дорогоцінної рідини, додатково посилюючи її нестачу. Це найчастіше може бути причиною затримки появи сходів. У разі ж застосування рідких добрив цей негативний ефект мінімізується.

Якщо у сприятливих регіонах кліматичні умови (вологість і тривалі плюсові температури) дають змогу отримувати високі врожаї практично завжди, то в умовах дефіциту вологи у ґрунті агрономи борються за навіть незначне збільшення врожайності. Таким чином, застосування рідких добрив одночасно з посівом наочно продемонструвало ефективність у зонах із недостатнім зволоженням ґрунтів. Там же воно набуло й найбільшого поширення.

У світовій практиці активно використовують внесення рідких добрив одночасно з посівом у таких країнах, як Австралія (з огляду на серйозний обмежуючий чинник: низьку вологість ґрунту), Канада й США. Не дивно, що ці країни першими стали розробляти й використовувати спеціальні пристосування для внесення таких добрив.

Сучасні технічні засоби дають можливість дообладнати будь-яку сівалку для одночасного з посівом внесення РМД. Головне визначитися з двома речами: де встановити бак для рідини і як організувати власне спосіб внесення. Спосіб внесення може бути два – разом з висівом насіння і в міжрядді.

При внесенні азотних добрив, наприклад, КАС як припосівного, існує велика ймовірність опіку насіння, особливо при високих дозах підживлення. Отже, сівалка повинна мати можливість вносити КАС окремо від насінневого ложа. Однак, при внесенні всієї норми добрив при посіві варто пам'ятати про велику ймовірність зниження польової схожості. Особливо при високих дозах, які будуть необхідними в міру збільшення врожайності. Вважається, що доза внесення припосівного добрива не повинна перевищувати 20 кг/га д.в. кожного елемента живлення. Це пов'язано з тим, що при прямому контакті без прошарку ґрунту добрив із насінням висока концентрація розчину солей може негативно позначитися на схожості насіння.

Конструктивно це не становить особливості складності. Може застосовуватися система різних коліс, які заробляють насіння установлених зі зміщенням від рядка, тощо. Тобто фактично можна поставити просто бічний відвід у міжряддя. Наприклад, вносити в міжряддя рідкі добрива можуть просапні сівалки Great Plains YP3025A.

Фосфор і калій із місця внесення переміщуються дуже слабо, в той час як коренева система рослин з верхнього шару ґрунту, що швидко пересихає, розвивається вглиб у пошуках вологи. Тому при внесенні рідких добрив краще закладати їх нижче від насінневого ложа. Наприклад, так працюють всі зернові сівалки компанії Bourgault, обладнані системою MRB та моделі YP825A і

YP1625AHL від Great Plains, які можуть закладати КАС на глибину 3–10 см збоку від рядка. Попри всі переваги, припосівне внесення рідких добрив поки ще дуже мало поширене як у Європі, так і в Україні. В основному це поки що одиничні замовлення, але тенденція до їх збільшення вже прослідковується.

Насамперед це пов'язано з незручністю зберігання та логістики. Якщо сухі гранульовані добрива просто відвантажують мішками й без проблем зберігають на звичайному складі, то здійснити доставку рідини і зберігати її в готовому вигляді набагато складніше: необхідні спеціальні резервуари, у тому числі й для транспортування РКД до сівалок. Крім того, виникає проблема зберігання при мінусових температурах. Тому бажано, щоб виробництво таких добрив було розташоване поблизу місця внесення.

Можна, звісно, й самостійно готувати суміші на місці, закупаючи сировину в сухому вигляді (наприклад, порошкоподібний сульфат амонію). Переваги очевидні: менше клопотів із доставкою та зберіганням порошку, при цьому діюча речовина відчутно дешевша.

Крім того, можна експериментувати зі складниками добрива. Деякі аграрії навіть підмішують у розчин суху форму калію й отримують азотно-фосфорно-калійне добриво. Однак цей шлях потребує точних знань пропорції виготовлення суміші (вони часто бувають рухливими), встановлення розчинового вузла, помпи й іншого обладнання для приготування рідкого добрива.

З готовим розчином працювати простіше, але для цього потрібне створення певної інфраструктури, тоді інтерес до рідких добрив зростає. Цей шлях розвитку перевезення рідких добрив може бути здійснено за аналогією з доставкою ПММ: бензовози (у цьому випадку розвізники рідких добрив) наповнюють великі сховища (танки) готовою сумішшю, а потім цистерни розвозять її в невеликих обсягах до місця застосування (на поля господарства) або, що більше практично, в невеликі накопичувальні сховища біля полів.

Просапні сівалки, як правило, конструктивно мають більше можливостей для встановлення бункера на сівалку (широкі дишли). В той час як при використанні зернових емність із рідкими добривами найчастіше чіпляють як окрему одиницю. І далі від цих цистерн організовується система доставки добрив – широкі шланги, які йдуть або до сошників насіння (тобто внесення відбувається разом із насінням у борозну), або на окремі сошники для добрив, що дає змогу здійснювати адресне внесення. Наприклад, у сівалках John Deere серії DB внесення рідких добрив (у заводській версії) передбачено тільки через сошник для насіння, а машини сімнадцятої серії надають можливість вносити їх через окремі сошники [10].

Найпоширенішим методом внесення рідких добрив у ґрунт є сошнікова система (за допомогою ножа або диска). Вона ефективно себе зарекомендувала на різних культурах, надто на просапних – кукурудза, соняшник і цукрові буряки. Для вне-

сення аміачної води та КАС використовуються причіпні аплікатори: з можливістю регулювання відстані між сошниками від 25 до 100 см; різної ширини захвату від 6,3 до 27,4 м; об'ємом бака з робочою рідиною від 1987 до 11735 л; приведенням у дію насосами (з механічним чи з гідравлічним приводом) для внесення робочої рідини у полі, а також регулюванням та контролем норм внесення (механічне регулювання аплікатора чи за допомогою комп'ютера); із системою внесення робочої рідини в ґрунт чи форсункою у борозну від диску.

Для прикладу розглянемо будову аплікатора ПЖУ 3000-6. Він складається із профільної рами

прямокутної форми, до якої прикріплений бак на 3000 л та 13 дисків сошникового типу для внесення робочої рідини (рис. 3). Подача робочої рідини здійснюється за допомогою мембрано-поршневого насоса продуктивністю 145 л/хв. під час робочого тиску 4-6 ат. Глибина внесення робочої рідини в ґрунт становить близько 200 мм за діаметра дисків у 530 мм. Ширина захвату аплікатора сягає 6 м. Площа обробітку ґрунту – від 4,2 до 8,4 га/год. Діапазон швидкості при внесенні робочої рідини – від 7 до 14 км/год. Для роботи аплікатора використовується трактор від 90 к.с. Гарантійний термін на агрегат становить 1 рік (рис. 3).



Рис. 3. Аплікатор ПЖУ 3000-6

Джерело: сформовано за [16]

Для внесення РМД прикоренево або по листю підходить будь-який обприскувач дообладнаний для корозійної стійкості деталей і особливо розпилювачів.

При внесенні КАС 15-40% їх залишається на листках, а 30-80% від цієї кількості вже протягом 48 годин засвоюється рослинами. Ступінь (відсоток) і швидкість засвоєння елементів живлення з добрив через листову поверхню значно вище, чим при засвоєнні з добрив, внесених у ґрунт. Для цього найкраще підходять розчини карбаміду й КАС, розведені водою. Амідна форма азоту швидко проникає через листову поверхню. Листкове живлення доцільно поєднувати із внесенням мікроелементів і пестицидів. Асортимент водорозчинних мікродобрив і пестицидів досить високий і агроном самостійно визначає, яка діюча речовина найбільш необхідна рослині в цей час [17].

КАС можна використовувати в такі строки й способи: 1) восени – під основний обробіток ґрунту; 2) навесні – під передпосівний обробіток; 3) для кореневого й некореневого живлення. Досвід використання розчинів КАС показав їх високу ефективність при основному внесенні і позакореновому підживленні сільськогосподарських культур. Норми й дози внесення КАС залежать від виду культури, строку й способу внесення, попередника культури, яку підживлюють, та інших факторів, що

враховують під час розробки системи живлення рослин. Ніяких спеціальних обмежень не існує.

Відразу після заливних дощів, сильної роси застосовувати КАС у суміші не рекомендується, тому що опади роблять структуру верхньої пластинки листя більш проникною (відповідно більш чутливою), тому обприскування посівів має проводитися після висихання листя рослин.

При внесенні ґрунтових гербіцидів у суміші з азотними добривами (КАСом, селітрою, сульфатом амонію) азот діє як «провокатор». Він стимулює дружне проростання насіння бур'янів. Наприклад, насіння лободи (*Chenopodium album*), яке швидко «прокидається» у присутності нітратів. Проростання бур'янів у шарі ґрунту зі «свіжим» гербіцидним екраном збільшує ефективність ґрунтового гербіциду.

Такий «тандем» підвищує ефективність внесення добрив. Загиблі бур'яни не споживають азоту. Як повторював старий пірат зі специфічним життєвим досвідом – «мертві не кусаються». Тому культурні рослини отримують тимчасову монополію на споживання азоту. При сприятливих погодних умовах вони користуються цим привілеєм дуже ефективно.

Ще одна істотна перевага рідких азотних добрив (деяких видів) – можливість проведення позакорневих підживлень. Такий спосіб доставки азот-

ного живлення рослинам під час їх активного зростання перевищує за ефективністю прикореневе підживлення. Наприклад, при внесенні однакової кількості карбаміду у водному розчині по листу та у гранулах на поверхню ґрунту, рослини отримують азоту в 3-4 рази більше саме при позакореновому підживленні. Але рідкі азотні добрива мають

деякі «проблемні» властивості. Таким чином, важливою перевагою КАСу є його висока технологічність.

Плями на листі та «підгорілі» кінчики листків – найбільш поширені симптоми «передозування» азоту при проведенні позакоренового підживлення (рис. 4).



Рис. 4. Позакореневе підживлення кукурудзи

Джерело: сформовано за [18]

У той же час це свідчить про деякі недоліки використання КАСів: 1) ризик опіків рослин і пов'язаний з цим постійний контроль норми внесення, норм розведення, враховуючі особливості культур, погодних умов; 2) необхідність особливих умов транспортування, зберігання та спеціальної техніки для внесення. Однак, зазначені недоліки досить легко усунути.

Застосування краплинного зрошення є не лише вимогою часу, а й відкриває нові можливості для аграріїв. Так, фертигація, як більш ефективний спосіб краплинного зрошення, дає змогу варіювати дози та співвідношення елементів живлення у різні фази росту та розвитку рослин, забезпечує постійне постачання поживних речовин у низьких дозах, які коренева система здатна поглинути майже повністю. Фертигація або внесення добрив з поливною водою має ряд переваг, а саме: елементи живлення та вода подаються близько до кореневої зони, що забезпечує кращу адсорбцію їх культурами; врожайність культур може підвищуватись на 25–50% завдяки збалансованій подачі елементів живлення та ефективному водопостачанню; ефективність використання добрив за умов фертигації становить 80-90%, що забезпечує економію як мінімум 25% елементів живлення, що втрачаються при інших способах внесення; поряд із економією добрив і водних ресурсів знижуються також затрати часу, робочої сили та енергії для виробництва однакової кількості продукції порівняно із традиційним способом внесення добрив; зниження забур'яненості й відповідно менші затрати на гербіциди; однорідний розподіл поживних речовин; застосування удобрення в будь-яку погоду, сезон року та час.

Крім того, ефективне внесення добрив запобігає надмірному надходженню нітратів і фосфатів із

добрив до об'єктів навколишнього середовища, що є, без сумніву, екологічною вигодою [19].

Зберігання готових рідких добрив теж створює певні складнощі: матеріал тари має бути стійким до корозії, а металеві резервуари із протикорозійною обробкою коштують досить дорого. При цьому вони займають багато місця.

Ю. Гринько та Д. Харитонова наголошують, що сьогодні на ринку з'явилася гарна альтернатива таким громіздким і дорогим спорудам – надувні пластикові ємності (зовні вони схожі на великі грілки). Їхні основні переваги для зберігання КАС та інших рідких добрив – це відсутність корозії, мала вага, швидкий монтаж, висока мобільність та невеликі габарити в зібраному вигляді. Діапазон робочих температур таких «грілок» становить від –60 до +85°C при строку використання не менше ніж 10 років.

Такі м'які резервуари можна експлуатувати практично скрізь. Слід мінімально розчистити для них місце (нівелюються нерівності), покласти невелику підстилку з соломи й усе – ємність готова до застосування. Ємності до 200–300 л одноразового зберігання після використання можна просто здути й прибрати на зберігання в господарські приміщення. Більше того, для встановлення таких надувних танків не потрібна ліцензія, на відміну від стаціонарних металевих ємностей.

Такі «грілки» вже пропонують багато виробників, у тому числі українських, і з їх появою відкриваються гарні перспективи для розвитку інфраструктури, а відтак і поширення застосування рідких добрив. Тим більше якщо взяти до уваги, що внесення синтезованого азоту точково, під сівбу, а не суцільним способом, удвічі економішше [10].

На думку деяких експертів ринку, невелика популярність рідких добрив обумовлена ще й тим, що вони досить недавно з'явилися на ринку і просто не встигли набути поширення й розкрити всі свої переваги.

Що ж до обладнання, то майбутнє рідких добрив (як, власне, і всього сільського господарства) – за автоматизованим і диференційованим внесенням. Уже зараз управління внесенням КАС та інших рідких добрив можна здійснювати з монітора, контролюючи норму внесення.

Висновки. Таким чином, раціональне використання добрив є надзвичайно актуальним для агропромислового комплексу. Спостерігається тенденція зростання популярності всього спектру рідких мінеральних добрив, особливо азотних. Використовуючи азотні добрива слід враховувати забезпеченість ґрунтів доступними формами нітрогену, потреби рослин у ньому для отримання відповідного рівня врожайності, а також відношення рослин до різних форм азотних добрив. Оскільки азотні добрива легкорозчинні й легко вимиваються із ґрунту, їх переважно вносять перед сівбою та використовують для підживлення рослин.

Новим інноваційним рішенням на ринку внесення рідких препаратів стала американська інжектора система SpikeWheel, для введення рідких добрив та ґрунтових інсектицидів.

Після внесення КАС у ґрунт ця форма акумулюється в орному шарі й стає доступною рослині протягом вегетації. Така система засвоєння азоту робить КАС добривом швидкої й тривалої дії. КАС має широкий спектр застосування: для прикореневого підживлення рослин, основного внесення під оранку й передпосівну культивування, для внесення на поверхню ґрунту до або після висіву, що підкреслює його високу технологічність.

Процес комплексного регулювання водного і поживного режимів ґрунту за допомогою фертигації, крім високої ефективності використання мінеральних добрив і поливної води, дозволяє підвищити культуру поливного землеробства на більш високий економічно доцільний рівень за рахунок значного скорочення (до 2 разів) витрат праці, матеріальних засобів і енергії на виробництво.

Фертигація виключає застосування спеціальних розкидачів добрив, зменшує вимоги до умов і термінів зберігання, розміру гранул, фізико-хімічних властивостей туків, збільшує можливості транспортування добрив без тари і застосування їх рідких форм, скорочує втрати поживних речовин на вилуговування, не підвищує концентрацію ґрунтового розчину, задовольняє рослини кукурудзи елементами живлення тоді, коли вони особливо відчують їх дефіцит.

Список літератури

1. Дудкина Е. Карбамидно-аммиачная смесь (КАС). *Агроном*. 2013. № 1. С. 20–22.
2. Пасічник Н.А., Марчук І.У. Застосування КАС для підживлення пшениці озимої на лучно-чорноземному карбонатному ґрунті. *Вісник ХНАУ: Сер. Агрохімія*. 2013. № 1. С. 140–143.
3. Горшков П. А., Макаренко В.М. Влияние систематического применения удобрений в севообороте на формирование урожая озимой пшеницы и его качество. *Агрохимия*. 2010. № 6. С. 41–50.
4. Жемела Г.П., Мусатов М.Г. Агрохімічні основи підвищення якості зерна: навч. посібник. Київ: Урожай, 2009. 160 с.
5. Чижова М.С., Денисенко А.І., Рыбина В.Н. Продуктивность короткоротационного севооборота при применении минеральных удобрений в условиях Луганской области. *Таврійський науковий вісник*. 2004. Випуск 31. С. 99-106.
6. Прохорчук І. Інноваційні технології застосування добрив: досвід США. URL: <https://www.growhow.in.ua/innovatsijni-tehnologiyi-vykorystannya-dobryv-dosvid-ssha/>
7. Томчук В.В. Управління поживними рештками і мульчею. *The scientific heritage*. 2020. № 46. VOL.2. С. 35-45.
8. Васильченко В. Тверді та рідкі мінеральні добрива: переваги за рідкими. *Агроном*. 2011. № 4. С. 150-153.
9. Логінова І. Рідкі фосфорні добрива: знайти відмінності. URL: <http://in-furrow.in.ua/all/ridki-fosforni-dobryva-znajty-vidminnosti/>
10. Гринько Ю., Харитоновна Д. Внесення рідких добрив із посівом. *Агроном*. 2019. № 1. С. 24-28.
11. Масляний О. Усі тонкощі КАС. URL: <https://propozitsiya.com/ua/usi-tonkoshchi-pro-kas>.
12. Охота Н. Безводний аміак – максимум переваг. *Агроексперт*. 2-19. № 1(126). С. 36-39.
13. Сірий В. Особливості використання аміачної води. URL: <https://propozitsiya.com/ua/osoblivosti-vikoristannya-amiachnoyi-vodi>.
14. Янчук А.А. Комплекс «РОСА-05» выполняет химобработку в любое время года. URL: <https://www.avgust.com/newspaper/topics/detail.php?ID=1935%20https://www.avgust.com/newspaper/topics/detail.php?ID=1935>.
15. Шевченко К. Школа агрономів: ін'єкція для ґрунту, або як ще внести рідкі добрива. URL: <https://agravery.com/uk/posts/show/skola-agronomiv-inekcia-dla-gruntu-abo-ak-se-vnesti-ridki-dobryva>.
16. Демко О., Павленко М. Аплікатори для внесення аміачної води та КАС. Прогресивний підхід у ніпрямі підживлення рослин. URL: <http://agrobusiness.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/11341-aplikatory-dlia-vnesennia-amiachnoi>
17. Система застосування добрив та агрохімікатів в інтенсивних технологіях. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros/wp-content/uploads/sites/20/pr.4.systema-zastosuvannja-dobryv-ta-ahrohimiaktiv-v-intensyvnyh-tehnolohijah.pdf>.
18. Гончаров О. Азотні добрива: «рідкі» замість «сухих»? URL: <https://www.agroone.info/publication/azotni-dobryva-ridki-zamist-suhih/>
19. Білева Н. Фертигація – інноваційний підхід до удобрення культур. URL: <https://www.agronom.com.ua/fertygatsiya-innovatsijnyj-pidhid-do-udobrennya-kultur/>

CHEMISTRY

ВИНИЛИРОВАНИЕ 1-ФЕНИЛ-3-МЕТИЛБУТИН-1-ОЛА-3 АЦЕТИЛЕНОМ

Тиркашева С.И.

стажёр-соискатель, Чирчикский государственный педагогический институт, Узбекистан, г. Чирчик

Зиядуллаев О.Э.

профессор, Чирчикский государственный педагогический институт, Узбекистан, г. Чирчик

Буриев Ф.Х.

преподаватель, Чирчикский государственный педагогический институт, Узбекистан, г. Чирчик

VINYLATION OF 1-PHENYL-3-METHYL BUTYN-1-OL-3 ACETYLENE

Tirkasheva S.

Intern researcher, Chirchik State Pedagogical Institute, Uzbekistan, Chirchik

Ziyadullaev O.

Professor, Chirchik State Pedagogical Institute, Uzbekistan, Chirchik

Buriyev F.

Teacher, Chirchik State Pedagogical Institute, Uzbekistan, Chirchik

Аннотация

Реакция винилирования ацетиленового спирта с ацетиленом гомогенным методом. Рассмотрено влияние природы и количество катализатора, мольное соотношение исходного вещества, температура в процессе реакции на выход продукта. Определено чистоту, строение, элементный состав и физические константы а также кванто- химические расчеты синтезированных соединений. Найдено оптимальное условие синтеза продукта с высоким выходом.

Abstract

Vinylation reaction with aromatic acetylenic alcohol homogenous methods. The influence of the nature and amount of catalyst, the molar ratio of the starting materials during the reaction temperature on the yield of the product. Definitely purity, structure, elemental composition and physical constants and quantum chemical calculations of the synthesized compounds. The optimal conditions for the synthesis of a product with a high yield.

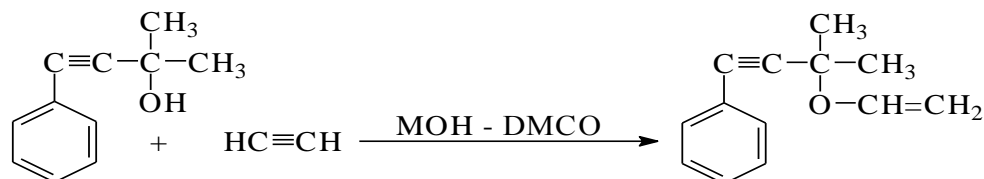
Ключевые слова: 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3, ацетилен, виниловые эфир, растворитель, выход продукта, механизм реакции.

Keywords: 1-phenyl-3-methylbutyn-1-ol-3, acetylene, vinyl ester, solvent, product outlet, reaction mechanism.

Имеются различные способы синтеза виниловых эфиров, среди которых наиболее удобным, одностадийным является винилирование соответствующих гидроксигруппысодержащих соединений. Реакция ацетилена с первичными и вторичными алифатическими спиртами в присутствии каталитической системы CsF-NaOH при 135-140 °С и повышенном давлении приводит к алкилвиниловым эфирам с выходом 73-89% [1, 2]. Первичные и вторичные спирты алифатического ряда вплоть до монтанового спирта легко присоединяются к ацетилену. Третичные спирты реагируют более медленно. Полифункциональные спирты, такие как гликоль, глицерин, 1,3- и 1,4-бутиленгликоли, сорбит и частично этерифицированные или ацетиленированные углеводы, имеющие свободные гидроксильные группы, могут быть провинилированы, причем дают частично или полностью винилированные продукты. В ряде случаев полифункциональные спирты могут давать циклические ацетали, а не виниловые эфиры. Циклогексанол и его замещенные— декалолы, терпеновые спирты, гидроабитанол и другие также дают виниловые

эфиры соответствующих соединений [3, 4]. Винилирование гидроксильной группы в некоторых случаях не удается, если она подобна гидроксилу аллилового спирта. Так, аллиловый и кротиловый спирты и 2-бутен-1,4-диол не могут быть успешно провинилированы. Однако если двойная связь более удалена, например, как в олеиновом спирте, винилирование протекает нормально [5, 6]. Исследовано также винилирование различных аминифенолов и оксидифениламинов. Во всех случаях получены ожидаемые виниловые эфиры. Соответствующие эфиры синтезированы при винилировании N-ацетиламинофенолов. Реакция осуществлена в среде диоксана в присутствии 20-25% едкого калия. Не выделен виниловый эфир N-ацетил-о-аминофенола вследствие циклизации и омыления исходного фенола [5, 6]. 1,2-Дивинилокси-1- и 1,2-дивинилокси-2-пропены впервые были получены с суммарным выходом 68% при нагревании (100-110 °С) глицерина и ацетилена в сверхосновной системе КОН-ДМСО. В этих условиях обаразуется также 4-винилоксиметил-2-метил-1,3-диоксолан с выходом до 9% [7, 8].

Винилирование 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 ацетиленом. Присоединением ацетилена к ароматические ацетиленовые спирты (ААС) гомогенным способом в присутствии высокоосновной среды щелочь- ДМСО синтезированы новые виниловые эфиры. Процесс осуществлен при различных температурах и продолжительностях реакций с



Роль ДМСО сводится к тому, что он, во-первых, является растворителем, а во-вторых, с щелочью образует высокоосновную среду. При этом повышается основность катализатора и соответственно его диссоциация, а также ускоряется его взаимодействие со спиртом с образованием алкоголята, нуклеофильное присоединение которого к

применением катализаторов LiOH, NaOH и KOH. Исследовано гомогенно-каталитическое винилирование 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 ацетиленом в суперосновной среде щелочь-ДМСО. Установлено, что при этом в основном образуется его виниловый эфир [9-11].

ацетилену приводит к искомому виниловому эфиру.

Изучено влияние природы и количества катализатора на выход винилового эфира ААС при температуре 100 °С и продолжительности реакции 4 часа в присутствии ДМСО (Рис 1.).

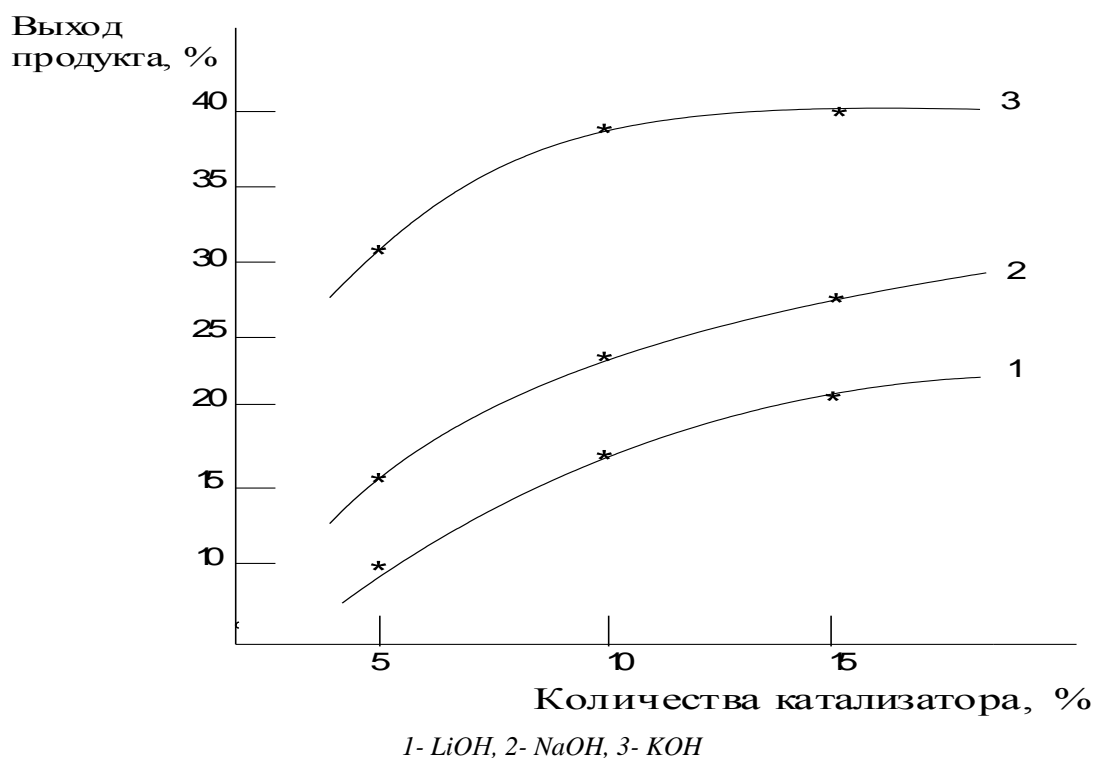


Рисунок 1. Зависимость выхода винилового эфира от природы и количества катализатора

Видно, что с увеличением радиуса иона металла возрастают каталитическая активность щелочи и, соответственно, выход винилового эфира.

С увеличением количества катализатора в изученном интервале (5-15% от массы спирта) выход продукта повышается. При использовании катализатора KOH в количестве 5, 10 и 15% выход винилового эфира соответственно составляет 32; 38 и 40%, а дальнейшее увеличение количества катализатора практически не влияет на выход продукта.

Известно, что в условиях стационарного режима процесса на выход продукта большое влияние оказывают продолжительность реакции и температура. В связи с этим было также изучено влияние температуры (в интервале 40-120 °С) и продолжительности реакции (2-8 часов) на винилирование 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 в присутствии KOH (Табл. 1.).

Таблица 1.

Влияние продолжительности и температуры реакции на выход винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (растворитель ДМСО, катализатор КОН в количестве 10% от массы спирта)

Продолжительность реакции, час	Температура, °С	Выход винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3, %
4	40	14,1
6	40	11,6
8	40	8,5
2	60	11,5
4	60	15,7
6	60	19,3
2	80	13,0
4	80	26,0
6	80	17,0
8	80	23,2
2	100	23,0
4	100	38,0
6	100	30,4
8	100	24,0
2	120	21,0
4	120	29,7
6	120	20,6
8	120	17,8

Из таблицы следует, что с увеличением продолжительности реакции при всех изученных температурах выход винилового эфира проходит через максимум. Надо отметить, что с увеличением температуры процесса оптимальное значение продолжительности реакции уменьшается. Например, при температуре 40 °С с увеличением продолжительности реакции от 2 до 4 часов выход продукта повышается от 9 до 14,1%, а при 80 °С в интервале 2-4 часов выход эфира увеличивается от 13 до 26%. Изучение влияния температуры в интервале 40-120 °С показало, что при этом выход продукта проходит через максимум. Максимальный выход (38%) винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 наблюдается при 100 °С.

Сравнительно низкий выход винилового эфира обуславливается тем, что процесс проводится при атмосферном давлении пропуском ацетилена через реакционную смесь при определённой относительно высокой температуре, в результате чего,

во-первых, уменьшается растворимость ацетилена, а во-вторых, ААС в щелочных условиях разлагается на исходные: фенилацетилен и кетон. В составе катализата имеются фенилацетилен, ацетон, и основной частью является непрореагировавший 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (40-50% от исходной массы). При выделении, очистке и обратной подаче его в реакцию общий выход продукта достигает 80-85% по ААС.

Таким образом, оптимальными условиями винилирования 1-фенил-3-метилпентин-1-ола-3 являются продолжительность реакции 4 часа и температура 100 °С.

Было изучено также влияние природы катализатора на выход винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (температура 100 °С, растворитель ДМСО, в качестве катализаторов использованы LiOH, NaOH и КОН). Полученные результаты приведены в таблице 2.

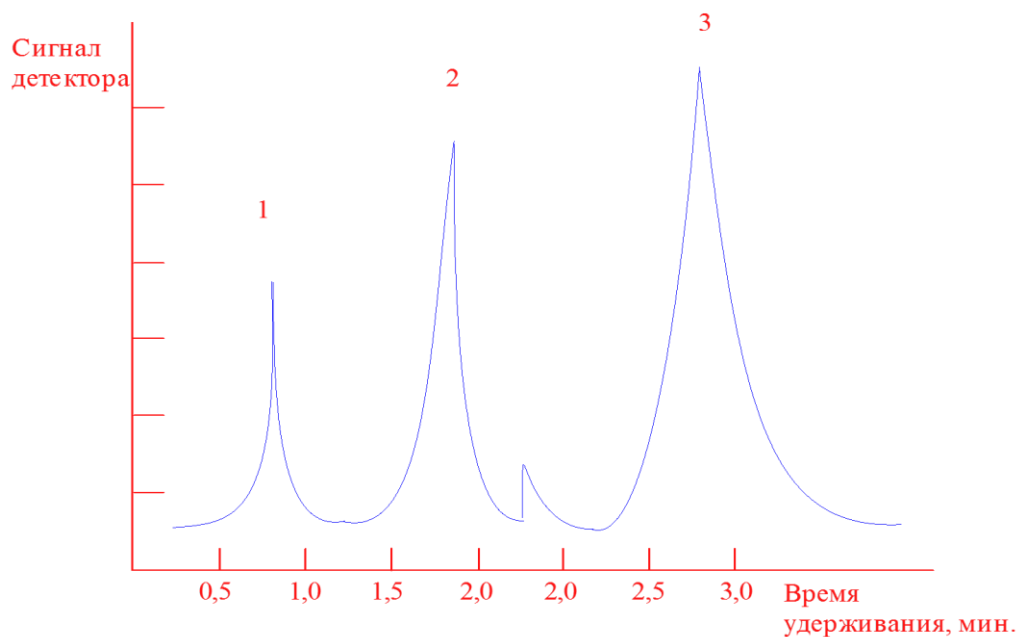
Таблица 2.

Влияние природы катализатора на выход винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (темп. 100 °С, растворитель ДМСО)

Катализатор	Продолжительность реакции, час	Выход винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3, %
LiOH	2	12,6
	4	17,0
	6	16,3
	8	18,1
NaOH	2	16,6
	4	23,0
	6	20,2
	8	17,2
KOH	2	23,0
	4	38,0
	6	30,4
	8	24,0

Установлено, что с увеличением продолжительности реакции в интервале 2-8 часов в случае использования LiOH выход продукта повышается, а в присутствии NaOH и KOH он проходит через максимум.

Среди использованных катализаторов наибольши выход достигнут при применении KOH, из этого следует, что чем больше основность катализатора, тем выше вероятность его положительного действия на выход продукта.



1- виниловый эфир 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3;
2- 1-фенил-3-метилбутин-1-ол-3; 3- растворитель – ДМСО.

Рисунок 2. Газо-жидкостная хроматограмма катализата реакции винилирования 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3

При этом установлено, что образуется виниловый эфир 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3. На рисунок 2 приведена газо-жидкостная хроматограмма катализата, образующегося при винилировании 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 ацетиленом. Показано, что в катализате имеются виниловый эфир 1-

фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (1), непрореагировавший 1-фенил-3-метилбутин-1-ол-3 (2), растворитель- ДМСО (3) и в незначительном количестве- вещество не установленного строения. На рисунок 3 приведена хроматограмма синтезированного винилового эфира ААС.

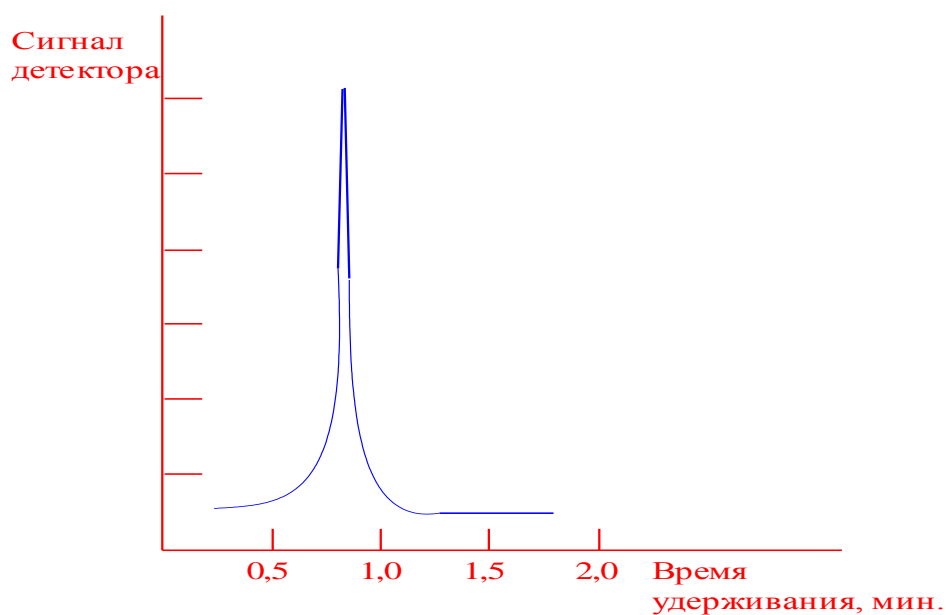


Рисунок 3. Газо-жидкостная хроматограмма винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3

Изучена кинетика синтеза винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (Таблица 3).

Кинетические данные синтеза ВЭ 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (катализатор КОН, 10% от массы спирта, растворитель ДМСО)

Продолжительность реакции, час	Температура, °C	Выход ВЭ 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3		Средняя скорость реакции	
		%	моль/л	%/час	моль/л. час
4	60	19,1	1,23	4,77	0,30
	80	26,0	1,61	6,50	0,40
	100	38,0	2,07	9,50	0,51
	120	29,7	1,63	7,42	0,41
6	60	15,7	1,03	2,61	0,17
	80	17,0	1,08	2,83	0,18
	100	30,4	1,70	5,06	0,28
	120	20,6	1,31	3,43	0,22
8	60	10,3	0,87	1,28	0,10
	80	13,2	0,96	1,65	0,12
	100	24,0	1,54	3,00	0,21
	120	17,8	1,16	2,22	0,14

На основании полученных результатов построена зависимость $\lg W$ от $1/T$ (Рисунок 4.) и по уравнению Аррениуса рассчитано значение энергии активации реакции образования винилового эфира 1-

фенил-3-метилбутин-1-ола-3, которая равна 7,45 ккал/моль.

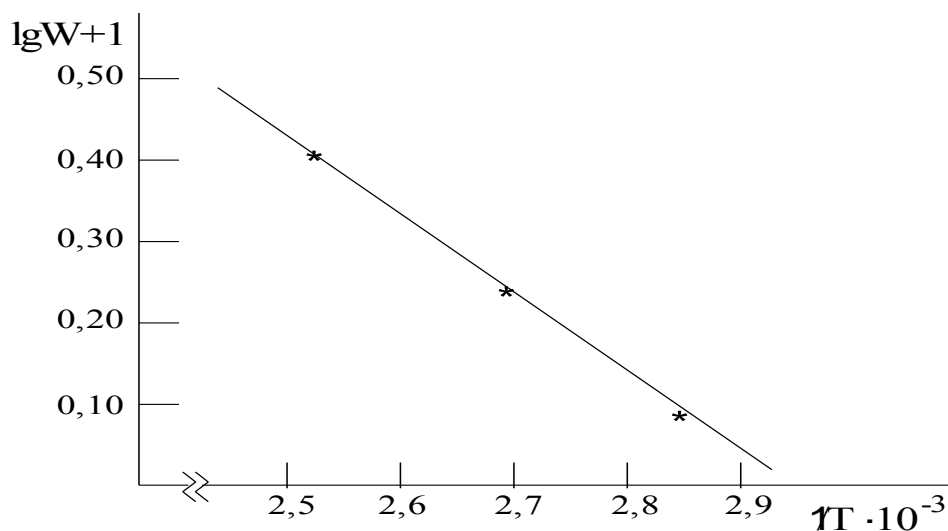


Рисунок 4. Зависимость $\lg W$ от $1/T$ образования винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3

Проведено математическое моделирование винилирования 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 с использованием программы STAT. Причем в качестве целевых функций использованы выход винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 и скорость реакции. На рис. 5 и 6 приведены визуальные иконограммы моделирования винилирования 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3, где рабочими функциями являются продолжительность реакции и температура.

Температурная и временная зависимости выхода винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-

ола-3, как и предполагалось, имеют экстремальный характер (Рис. 5). Эти параметры подтверждают правильность установленных экспериментом диапазонов. Установленная зависимость аппроксимируется уравнением:

$$y = -133,34 + 4,15x_1 - 0,028x_1^2 + 2,78x_2 - 0,47x_2^2 \quad (1);$$

где: y – выход винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 (%);

x_1 – температура (°C);

x_2 – продолжительность реакции (час.).

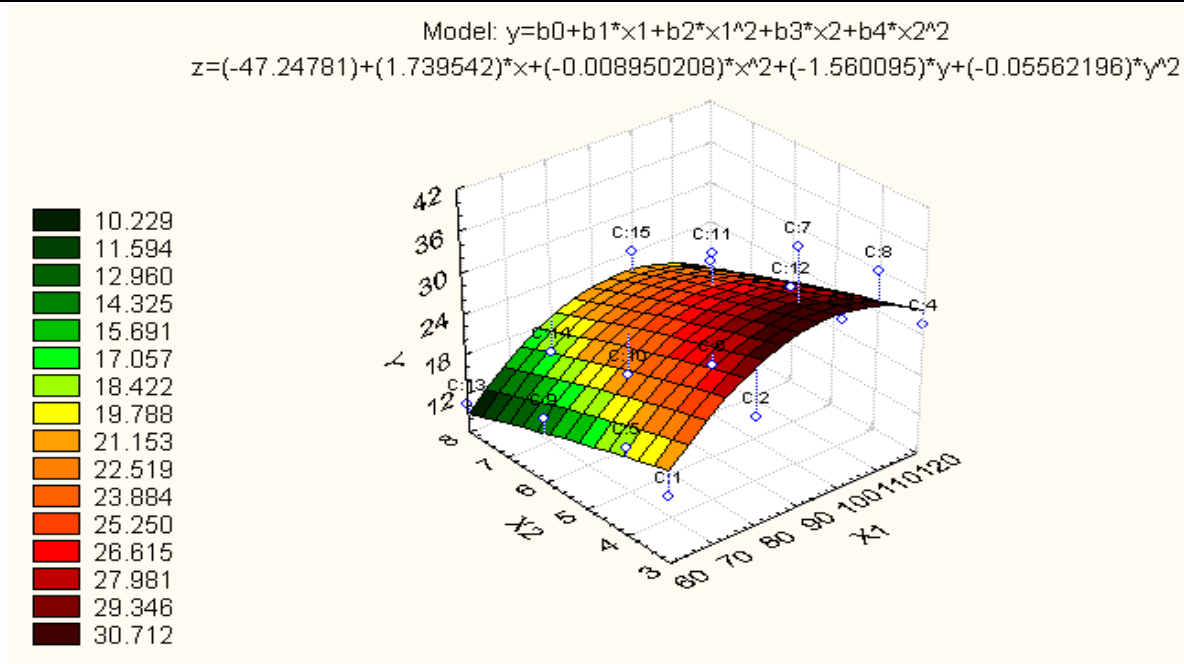


Рисунок 5. Иконограмма математического моделирования винилирования 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3

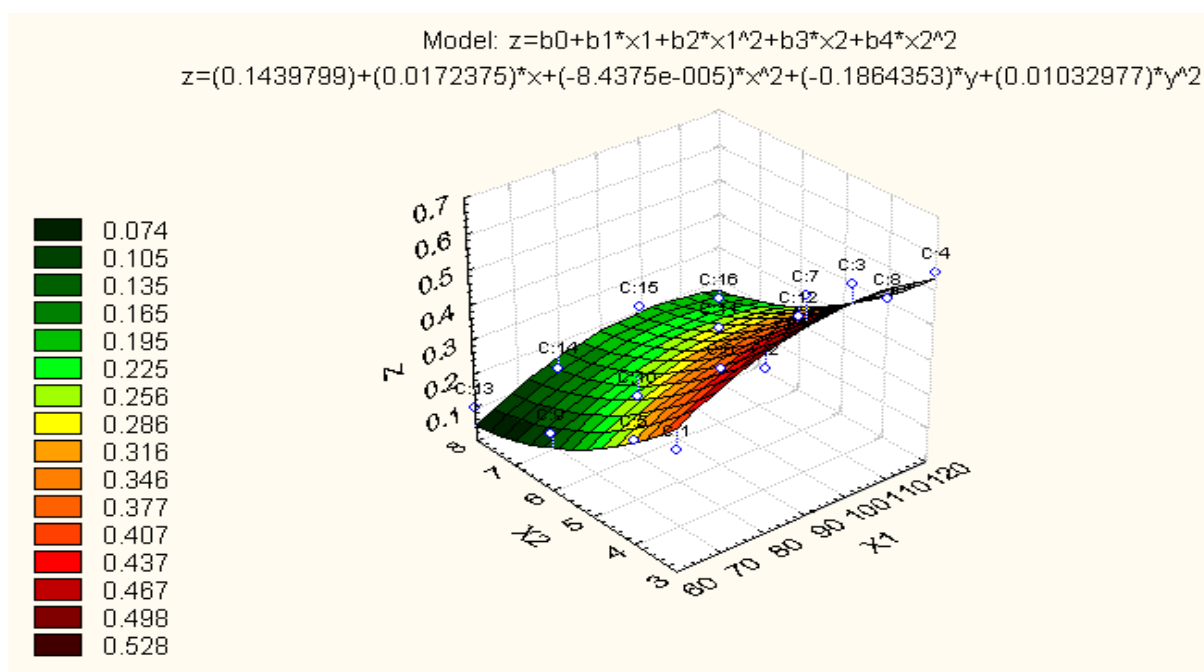


Рисунок 6. Иконограмма зависимости скорости реакции винилирования 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 от температуры и продолжительности реакции

На рис. 6 приведена зависимость скорости реакции винилирования от температуры и продолжительности реакции, аппроксимируясь уравнением:

$$z = -18,20 + 0,79x_1 - 0,0052x_1^2 + 4,87x_2 + 0,64x_2^2 \quad (2);$$

где: z – скорость винилирования (моль/л.час. $\cdot 10^{-4}$);

x_1 – температура ($^{\circ}\text{C}$);

x_2 – продолжительность реакции (час.).

Технологический критерий оптимизации условий винилирования выражается максимальным выходом целевого продукта:

$$y(x_1, x_2) \rightarrow \max \quad (3)$$

При этом оптимум, как упоминалось выше, достигается при фиксированном выходе продукта.

Для определения оптимума необходимо математическое моделирование (2, 3), приводящее к общему виду:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_1^2 + b_3x_2 + b_4x_2^2 \quad (4)$$

и дифференцируя « y » по каждой из переменных величин x_1 и x_2 получаем:

$$\begin{cases} \frac{\partial y}{\partial x_1} = b_1 + 2b_2x_1 = 0 \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} = b_3 + 2b_4x_2 = 0 \end{cases} \quad (5)$$

Решив систему уравнений, находим x_1 и x_2 :

$$x_1 = -\frac{b_1}{2b_2} \text{ и } x_2 = -\frac{b_3}{2b_4} \quad (6)$$

Подставляя значения b_1 , b_2 , b_3 и b_4 уравнений (2, 3), находим оптимум точек x_1 и x_2 :

$$x_1 = 96,7^\circ\text{C}; x_2 = 5,6 \text{ час}, y = 36,6\%; z = 3,04 \cdot 10^{-4} \text{ моль/лч.}$$

В ПМР- спектре винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 при 0,8 и 1,1 м.д. наблюдается резонансный сигнал протонов метильной группы, при 5,4 и 5,9 м.д.- протоны винильной группы, при 7,0 и 7,2 м.д. H_3 , H_4 , H_5 протоны, а при 7,3-7,9- м.д. H_6 протон ароматического кольца.

В ИК- спектре винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 наблюдаются валентные колебания С-Н связи фенильной группы в области 3102,7; 3078,8; 3048,4 и 3028,2 см^{-1} , в области 2923,3 и 2852,2 см^{-1} наблюдаются валентные колебания метильной группы, при 1956,9 см^{-1} валентные колебания $\text{C}\equiv\text{C}$ связи, поглощения в области 1685,2 см^{-1} относится к $\text{C}=\text{C}$ связи винильной группы, 1663,2 см^{-1} наблюдаю валентные колебания С-С связи ароматического кольца, в области 1157,6 и 1056,2 см^{-1} валентные колебания эфирной (С-О-С) группы.

Элементный анализ синтезированного винилового эфира 1-фенил-3-метилбутин-1-ола-3 ($\text{C}_{13}\text{H}_{14}\text{O}$) дал следующий результат (%): С- 83,50; Н- 7,71; О- 8,79. Теоретически рассчитанный элементный состав исходя из вышеприведенной структуры следующий (%): С- 83,83; Н- 7,58; О- 8,59.

Список литературы

1. Опарина Л.А., Шайхудинова С.И., Паршина Л.Н., Высоцкая О.В., Прайс Т. Хенкелман Й., Трофимов Б.А. Нуклеофильное присоединения к ацетиленам в сверхосновных каталитических системах // Журнал органической химии. -2005. Т.41. Вып.5. –С. 672-674.

2. Vladimir V. Voronin, Maria S. Ledovskaya, Alexander S. Bogachenkov, Konstantin S. Rodygin, and Valentine P. Ananikov, Acetylene in Organic Synthesis: Recent Progress and New Uses // *Molecules*, 2018, Issue 23, pp.19-84.

3. Hosseini A., Saidel D., Miska A., Shreiner P. Fluoride-assisted activation of calcium carbide: A simple method for the ethynylation of aldehydes and ketones // *Organic Letters*, 2015, 17, -pp. 2808-2811.

4. Дикусар Е.А., Козлов Н.Г., Мойсейчук К.Л. R(-)- и S(+)-карвон в синтезе оптически активных ацетиленовых спиртов, простых эфиров и дихлоркремний содержащих производных // Журнал органической химии. -2002. Т.38. Вып.10. –С. 1493-1497.

5. Shmidt E.Yu., Bidusenko I.A., Protsuk N.I., Mikhaleva A.I., Trofimov B.A. Improved Synthesis of Tertiary Propargyl Alcohols by the Favorskii Reaction of Alkyl, Aryl (Hetaryl) Ketones with Acetylene // *Russian Journal of Organic Chemistry*, 2013, Vol. 49, Issue 1, 8-11.

6. Vladimir V. Voronin, Maria S. Ledovskaya, Alexander S. Bogachenkov, Konstantin S. Rodygin, Valentine P. Ananikov Acetylene in Organic Synthesis: Recent Progress and New Uses // *Molecules*, 2018, Vol. 23, Issue 2442, 3-82.

7. Cook A.M., Wolf C.S. Efficient Access to Multifunctional Trifluoromethyl Alcohols through Base-Free Catalytic Asymmetric C–C Bond Formation with Terminal Ynamides // *Angew. Chem. Int. Ed.* 2016, 55, pp. 2929–2933.

8. Venu Srinivas K.V., Sajna K.C., Kumara Swamy Zn(OTf)₂ catalyzed addition–cyclization reaction of allenylphosphine oxides with propargyl alcohol-unexpected formation of 2,5-dimethylenetetrahydrofurans and 2-substituted furans // *Tetrahedron Letters*, 2011. Vol. 52. – pp. 5323-5326.

9. Ziyadullaev O.E., Otamuhamedova G.Q., Samatov S.B., Nurmanov S.E., Turabdjano S.M., Abdurakhmanova S.S., Ikramov A.I. Synthesis Of Acetylenic Alcohols In The Presence Of Different Catalytical Systems / Fifth International Conference “Catalysis For Renewable Sources: Fuel, Energy, Chemicals” (CRS-5) Crete (Greece), 2019, pp. 201-202.

10. Отамухамедова Г.К., Абдурахманова С.С., Зиядуллаев О.Э. Алкинирование циклических кетонов фенилацетиленом в присутствии высокоосновной каталитической системы / Международная научно-практическая конференция «Молодежь- как движущая сила развития науки», Шымкент (Казахстан), 2019, Том II, -С. 178-181.

11. Ziyadullaev O.E., Abdurakhmanova S.S., Samatov S.B., Otamukhamedova G.Q., Narbayev U.K. The Role Of Catalysts In The Synthesis Of Acetylenic Alcohols And Their Vinyl Esters By Catalytic Methods Of Petroleum Products / III Scientific-Technological symposium “Catalytic Hydroprocessing in Oil Refining” (Lyon, France), 2018, pp. 233-235.

**ПОЛУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭЛЕКТРОНАСЫЩЕННЫХ АРИЛ(ГЕТАРИЛ)ОКСИРАНОВ
В МЕЖФАЗНЫХ И ГОМОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ****Шумейко А.Е.***К.х.н., старший научный сотрудник,
Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко НАН Украины,
г. Киев***Афонькин А.А.***К.х.н., старший научный сотрудник,
Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко НАН Украины,
г. Киев***PRODUCTION OF SOME ELECTRONICALLY - SATURATED ARILS (HETARIL) OF OXYRANS
IN INTERPHASIC AND HOMOGENEOUS CONDITIONS****Shumeiko A.***Ph.D. Senior Researcher,
Institute of Physical Organic Chemistry and Coal
Chemistry, L.M. Litvinenko NAS of Ukraine,
Kyiv***Afonkin A.***Ph.D. Senior Researcher,
Institute of Physical Organic Chemistry and Coal
Chemistry, L.M. Litvinenko NAS of Ukraine,
Kyiv***Аннотация**

Взаимодействие метоксизамещенных бензальдегидов с триметилсульфоний метилсульфонатом легко протекает в мягких гомогенных и трансфазно-каталитических условиях с выходами арилоксиранов, не уступающими таким, которые характерны для жестких условий реакции Кори-Чайковского. Трансфазно-каталитический вариант реакции обеспечивает большую чистоту целевых эпоксипроизводных и является единственным возможным при получении 1-метил-3-оксиранилиндола.

Abstract

The interaction of methoxy substituted benzaldehydes with trimethylsulfonium methylsulfonate easily proceeds under mild homogeneous and transphase-catalytic conditions with yields of aryloxyranes not inferior to those characteristic of severe conditions of the Kori-Tchaikovsky reaction. The transphase-catalytic variant of the reaction provides greater purity of the target epoxy derivatives and is the only possible way to obtain 1-methyl-3-oxiranylindole.

Ключевые слова: метоксизамещенные бензальдегиды, триметилсульфоний метилсульфонат, реакция Кори-Чайковского, трансфазный катализ, оксиранилиндола.

Keywords: substituted benzaldehydes, trimethylsulfonium methylsulfonate, the Cory-Tchaikovsky reaction, transphase catalysis, oxiranylindoles.

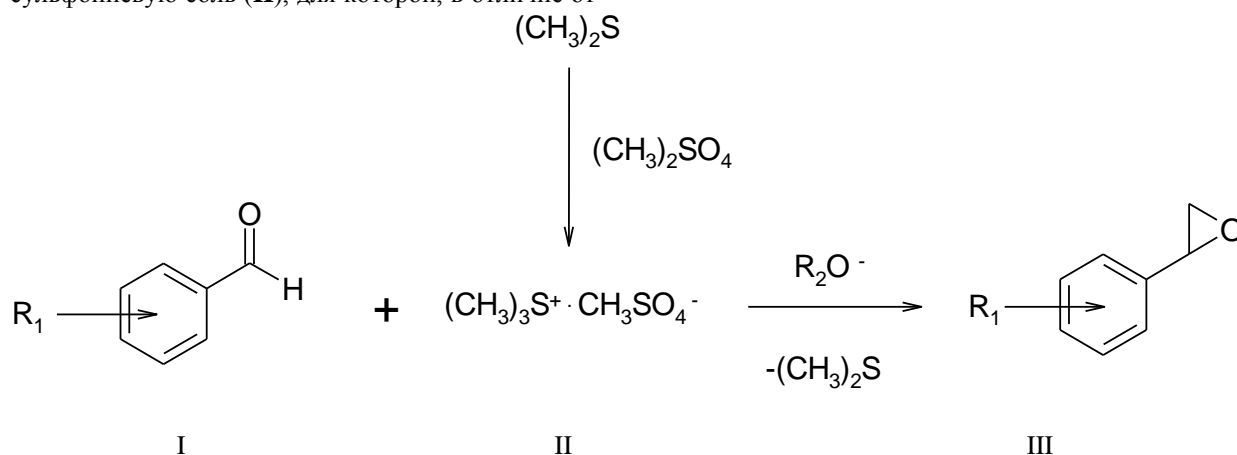
Терминальные арил- и гетарилоксираны, особенно содержащие электро-но-донорные заместители в ароматическом ядре, находят широкое применение в синтезе биологически активных соединений. В частности, продукты их ре-гиоселективного аминолита структурно подобны катехоламиновым нейромедиаторам и представлены среди $\alpha(\beta)$ -адреноблокаторов (лабеталол, тибалосин, бутоксамин) и $\alpha(\beta)$ -адренактиваторов (норфенэфрин, изадрин, мидодрин, меза-тон, метоксамин и др.) [1]. Кроме того, такого рода β -оксифенетиламины могут выступать в качестве ключевого стартового материала в синтезе алкалоид-подобных соединений изохинолинового ряда [2], в том числе полностью ароматизированных, некоторых бензазепинов психотропного действия [3].

Метоксизамещенные фенилоксираны - типичные представители вышеуказанного ряда соединений - могут быть получены дегидрогалогенирова-

нием соответствующих вицинальных арилгалогенгидринов, либо окислением пероксикислотами достаточно редких замещенных стиролов, либо присоединением метиленового фрагмента к карбонильной группе более доступных бензальдегидов в условиях реакции Кори-Чайковского [4]. В последнем случае, в качестве источника метиленовых частиц выступают илиды серы (реже селена, мышьяка [5]), получаемые действием сильных оснований (NaOH [6], tBuO⁻K⁺[5], nBuLi [5], димилнатрия [4]) на триалкилсульфониевые (сульфоксониевые) соли в абсолютизированных растворителях (ДМСО, ТГФ). В то же время известно, что карбонильные соединения могут быть превращены в оксиранилокси производные в более мягких условиях, где аналогичное генерирование метилидов серы достигается с помощью алколят-ионов в ацетонитриле [7] или гидроксид-ионов в двухфазных системах жидкость-жидкость [8]. Однако, сведения о применении более мягких условий для синтеза арилоксиранов

представлены единичными примерами, не позволяющими спрогнозировать результаты для алкоксизамещенных бензальдегидов, которые и в классическом варианте реакции Кори-Чайковского демонстрируют [6] более низкую конверсию в эпоксипроизводные.

Цель работы состояла в поиске мягких легко масштабируемых условий превращения электрон насыщенных карбонильных соединений (I) в соответствующие оксиранпроизводные (III). В качестве источника метилениды серы использовали триметилсульфониевую соль (II), для которой, в отличие от



где R₁ = 4-MeO (a), 2,5 (MeO)₂ (b), 3,4 (MeO)₂ (c), 3,4,5 (MeO)₃ (d); R₂ = Me, H.

Рисунок 1. Схема реакции электрон насыщенных карбонильных соединений (I) с триметилсульфоний метилсульфонатом с образованием соответствующие оксиранпроизводных (III).

2) в трансфазнокаталитических условиях – в системе 1:1 (об.) 50% водный раствор едкого натра – дихлорметан в присутствии четвертичной аммониевой соли (Me₂PhCH₂PhN⁺Cl⁻, Bu₄N⁺Br⁻) в качестве катализатора и предварительно синтезированной соли триметилсульфоний метилсульфоната (II).

В обоих случаях достигаются одинаковые глубины превращения карбонильных соединений в эпоксипроизводные (~75%; см. табл.), соизмеримые с результатами, характерными для классических условий реакции Кори-Чайковского. При этом увеличение количества метокси-групп в ароматическом ядре бензальдегидов не приводит к падению выходов арилоксиранов, что имеет место в более жестких классических условиях [6].

Гомогенный вариант депротонирования требует создания более чем 1.5-кратного избытка триметилсульфониевой соли (II) по отношению к карбонильному субстрату (I), что приводит к появлению в конечном арилоксиране (III), очищенном фракционной перегонкой, характерной трудноудаляемой примеси (~3-5%) одного из участников син-

сульфоксониевого аналога, характерны более высокая реакционная способность [4,8] и однозначный характер [3,4] действия на карбонильные соединения.

Реакцию проводили:

1) в гомогенных условиях – в среде безводного ацетонитрила в присутствии метилата натрия в качестве основания и триметилсульфоний метилсульфоната (II), образующегося *in situ* при обработке диметилсульфида диметилсульфатом;

теза реагента - сульфониевой соли (II). Выход арилоксирана (III) зависит от агрегатного состояния депротонирующего агента: он на 10-12% выше при использовании твердого метилата натрия вместо раствора алкоголята той же концентрации в избытке метанола. В трансфазных условиях достаточно 1.2-кратного избытка триметилсульфоний метилсульфоната (II) для достижения тех же глубин превращения карбонильного соединения, а получающийся оксирансодержащий продукт свободен от вышеуказанной примеси. Липофильность и концентрация трансфазного катализатора не имеют принципиального значения, поскольку сам реагент – соль (II) – может экстрагироваться в органическую фазу [8,9] и выступать в качестве переносчика метиленовых частиц, генерируемых на поверхности раздела фаз. К тому же известно [8], что более гидрофильные четвертичные аммониевые (или третичные сульфониевые) соли, содержащие короткоцепочные алкильные (фенильные, бензильные) заместители, легче экстрагируются в крепкие растворы щелочей, чем липофильные и потому более предпочтительны в качестве межфазного катализатора в такого рода процессах

Результаты синтеза арил(гетарил)оксиранов (**IIIa-d, V**) в гомогенных и трансфазно-каталитических условиях реакции Кори-Чайковского с участием триметилсульфониевых солей.

Исходное карбонильное соединение	Выход ¹⁾ соответствующего оксиранпроизводного в различных условиях (%)		
	Классический вариант реакции ²⁾	Гомогенный вариант реакции в присутствии метилата натрия	Трансфазно-каталитический вариант реакции
Бензальдегид	75 [4]	83 ³⁾ [7]	92 ⁴⁾ [8]
Ia	75 [6]	87 ³⁾ [7] 56 ⁵⁾ 68 ⁶⁾	75
Ib	60 [6]	72	76
Ic	-	-	77
Id	-	-	75
IV	-	-	~50

Примечание. ¹⁾ Приведены выделенные выходы соответствующих арилоксиранов за исключением соединения (**V**), выход которого относится к реакционной массе; ²⁾ В безводном ДМСО в присутствии NaOH; ³⁾ В безводном ацетонитриле в присутствии метилата натрия (агрегатное состояние не указано); ⁴⁾ В двухфазной системе дихлорметан-50% раствор NaOH в присутствии тетрабутиламмоний иодида; ⁵⁾ В безводном ацетонитриле в присутствии раствора метилата натрия в метаноле; ⁶⁾ В безводном ацетонитриле в присутствии твердого метилата натрия.

Однако, в трансфазных условиях природа анионной компоненты реагента (**II**) может значительно влиять на результат превращения альдегидов в эпоксисоединения. Для трансфазно-каталитического эпоксирирования β -ионана показано [9], что при использовании фторидных сульфониевых солей наблюдаются сильные экзотермические эффекты, в присутствии иодидов - процесс заканчива-

ется низкими выходами, а лучшие результаты достигаются при использовании хлоридных солей. Поэтому, при выборе межфазного катализатора необходимо учитывать возможность анионного обмена между аммониевым и сульфониевым катионами катализатора и реагента соответственно, потенциально способного привести к превращению реагента в мало реакционноспособную форму. Оптимальным вариантом представляется использование обеих солей с анионами, сопоставимыми по гидрофильности (хлориды, бромиды, метилсульфонаты [8]) и обеспечивающими достаточно высокую скорость трансфазно-каталитического эпоксирирования.

Особый интерес вызывает превращение индолкарбальдегида (**IV**) в 3-оксиранилиндола (**V**), соответствующие реакции которого открывают потенциальный путь к важным синтонам - оксиграминам, окситриптаминам, окситриптофолам и окситриптогалогенидам. В гомогенных условиях в присутствии

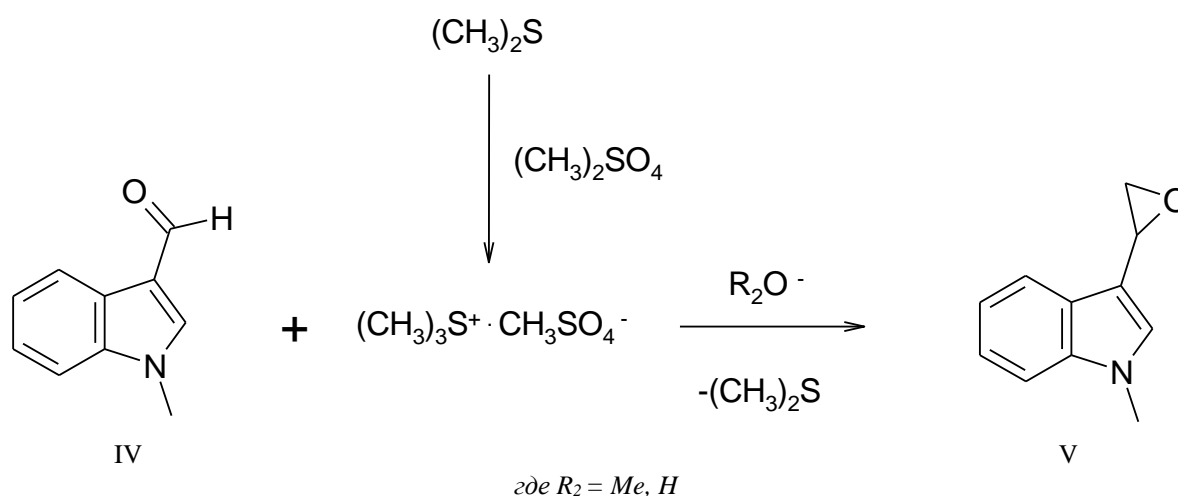


Рисунок 2. Схема реакция индолкарбальдегида (**IV**) с триметилсульфониевой солью с образованием 3-оксиранилиндола (**V**).

твердого метилата натрия, обеспечивающее успешное получение метоксизамещенных фени-

локсиранов, эпоксирирование соединения (**IV**) приводит к значительному осмолению реакционной массы.

В отличие от бензофуран- и бензтиофенкарбальдегидов различного строения, для которых трансфазный вариант реакции Кори-Чайковского заканчивался [3] 60-88% выходами соответствующих эпоксисоединений, индолкарбальдегид (**IV**) превращается в эпоксипроизводное (**V**) с выходом не более 50%. Ни тройное увеличение времени синтеза и концентрации катализатора $\text{Me}_2\text{PhCH}_2\text{PhN}+\text{Cl}^-$, ни понижение температуры проведения реакции до 25°C, ни создание дополнительного избытка реагента (**II**) до 1.9-кратного, ни переход к более липофильному катализатору $\text{Bu}_4\text{N}^+\text{Br}^-$ и дозированному способу внесения реагента (**II**) в двухфазную систему, не привели к увеличению выхода соединения (**V**). По данным ТСХ реакционной смеси выход 1-метил-3-оксиранилиндола (**V**) достигает максимально возможной величины к 25 часу процесса, после чего незначительно падает. При этом 3-эпоксипроизводное 1-метилиндола (**V**) образуется в количествах, сопоставимых с содержанием непрореагировавшего исходного соединения (**IV**), что при равенстве их расчетных температур кипения существенно затрудняет традиционную очистку целевого продукта и требует, как минимум применения препаративной хроматографии.

В целом, можно заключить, что трансфазно-каталитический вариант реакции Кори-Чайковского выглядит более предпочтительным, приводя к продукту более высокой чистоты и оставаясь при этом столь же мягким, легко масштабируемым (вплоть до 1М загрузки альдегида) как и гомогенный вариант.

Экспериментальная часть

Спектры ЯМР ^1H полученных соединений записывали на спектрометре Varian "Gemini-200" (200 МГц) в d-хлороформе, внутренний стандарт – ТМС. Температуры плавления определяли на плавленом столике Voëtius.

Анализ ТСХ проводили на пластинах Silufol (Chemapol, Чехия), используя систему растворителей хлороформ-метанол, 99.5:0.5. Вещества обнаруживали нагреванием при 100-120°C в течение 1-2 мин.

4-Метоксибензальдегид (Ia), 2,5-диметоксибензальдегид (Ib) "Merck" очищали вакуумной перегонкой.

3,4-Диметоксибензальдегид (Ic) получали метилированием ванилина диметилсульфатом по методу [10], т.пл. 42-43°C (лит. т.пл. 42.5-43.5°C [10]).

3,4,5-Триметоксибензальдегид (Id) получали бромированием ванилина с последующим метанолизом [11] и метилированием диметилсульфатом [10], т.пл. 74-75°C (лит. т.пл. 74-76°C [11]).

1-Метил-3-индолкарбальдегид (IV) получали формилированием индола [12] с последующим метилированием 3-индолкарбальдегида диметилсульфатом [13], т.пл. 69-70°C (лит. т.пл. 69-70°C [13]).

Триметилсульфоний метилсульфонат (II). К раствору, содержащему 62 г (1 Моль) диметилсульфида в 75 мл сухого ацетонитрила, добавляли при перемешивании 130.6 г (1.03 Моль) свежеперегранный диметилсульфат, при этом охлаждая смесь в

течение часа на ледяной бане. Далее реакционную смесь оставляли на ночь, а затем растворитель отгоняли при помощи роторного испарителя. Твердый остаток промывали 3 x 150 мл сухого серного эфира, после чего остатки эфира удаляли отгонкой на роторном испарителе и далее вакуумировали при 5-7 мм рт.ст. Получившуюся с количественным выходом соль подвергали дополнительной сушке над P_2O_5 в вакуум-экссикаторе. Физико-химические характеристики соли соответствовали литературным [14].

Общая методика получения соединений (III, V) в гомогенных условиях. При перемешивании в 100 мл сухого метанола вносили 0.335 Моль мелко нарезанного натрия. После полного растворения спиртовой раствор упаривали досуха. К твердому остатку метилата натрия добавляли при перемешивании смесь 0.33 Моль диметилсульфида и 0.32 Моль диметилсульфата, выстоянную в течение ночи в 120 мл сухого ацетонитрила. Затем прикапывали в течение 30 мин раствор 0.18 Моль карбонильного соединения (I, IV) в 70 мл сухого ацетонитрила и перемешивание продолжали еще 2 часа. По завершении реакции растворитель удаляли отгонкой при помощи роторного испарителя, остаток растворяли в 100 мл воды. Продукт экстрагировали 3 x 100 мл дихлорметана, органический раствор промывали водой и сушили над K_2CO_3 . После отгонки дихлорметана вязкий остаток подвергали фракционной вакуумной перегонке.

Общая методика получения соединений (III, V) в трансфазных условиях. Перемешивали при 50°C в течение 22-25 часов смесь 100 мл дихлорметана и 100 мл 50% водного раствора едкого натра, содержащую 0.18 Моль карбонильного соединения (I, III), 0.21 Моль триметилсульфоний метилсульфоната (II) и 1 мМоль межфазного катализатора. После завершения реакции органический слой отделяли, водный – дополнительно экстрагировали 100 мл дихлорметана. Объединенные органические вытяжки промывали 2 x 200 мл воды и сушили над K_2CO_3 . Удаляли дихлорметан при помощи роторного испарителя, остаток подвергали фракционной вакуумной перегонке.

В случае соединения (V) процедура выделения состояла в следующем. Высушенный органический экстракт, содержащий продукт синтеза, наносили на колонку, заполненную щелочной Al_2O_3 для хроматографии (использование силикагеля приводило к разложению эпоксидного соединения). После удаления смолообразной части и отгонки дихлорметана реакционную массу, содержащую продукт (V) и непрореагировавший исходный альдегид, растворяли в 50 мл метанола и прикапывали при перемешивании к 100 мл насыщенного водного раствора бисульфата натрия. После 5-6 часов перемешивания добавляли 100 мл воды и экстрагировали продукт 2 x 100 мл дихлорметана. После стандартных операций по осушке органического экстракта, удаления растворителя и фракционной перегонки получали продукт (V) удовлетворительной чистоты.

4-Метоксифенилоксиран (IIIa), т.кип. 117-119°C/ 7-8 мм рт ст. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.80 м (1H, CH_2), 3.10 м (1H, CH_2), 3.80 с (3H, OCH_3), 3.82 м (1H, CH), 6.85 д (2H_{аром}), 7.20 д (2H_{аром}).

2,5-Диметоксифенилоксиран (IIIb), т.кип. 140-143°C/8-9 мм рт ст. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.65 м (1H, CH_2), 3.15 м (1H, CH_2), 3.75 с (3H, OCH_3), 3.85 с (3H, OCH_3), 4.20 м (1H, CH), 6.75 д (1H_{аром}), 6.80 д (1H_{аром}), 6.83 с (1H_{аром}).

3,4-Диметоксифенилоксиран (IIIc), т.кип. 142-143°C/ 6-7 мм рт ст., т. пл. 37-38°C. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.80 м (1H, CH_2), 3.15 м (1H, CH_2), 3.85 м (1H, CH), 3.90 с (3H, OCH_3), 6.75 с (1H_{аром}), 6.85 м (2H_{аром}).

3,4,5-Триметоксифенилоксиран (IIIд), т.кип. 127-129°C/ 4-5 мм рт ст., т. пл. 54-55°C. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.75 м (1H, CH_2), 3.10 м (1H, CH_2), 3.80 м (1H, CH), 3.82 с (3H, 4- OCH_3), 3.88 с (6H, 3,5- $(\text{OCH}_3)_2$), 6.52 с (2H_{аром}).

1-Метил-3-оксиранилиндола (V), т.кип. 186-189°C/ 3-4 мм рт ст. Спектр ЯМР ^1H , δ , м.д.: 2.55 м (1H, CH_2), 2.75 м (1H, CH_2), 3.20 м (1H, CH), 3.70 с (3H, CH_3), 6.90 с (1H_{пирр}), 7.20-7.4 м (4H_{аром}).

Список литературы

1. Авакян О. Фармакологическая регуляция функции адренорецепторов. М.: Медицина, 1988, 256 с.
2. Kleemann A., Engel J. Pharmazeutische Wirkstoffe. Synthesen. Patente. Anwendungen, Georg Thieme Verlag Stuttgart- N.-Y., 1982, 1040 p.
3. Мороз А., Жуланов В., Дмитриев М. Синтез оксирановых производных 1H-пиррола-2,3-дионов // Журн. орган. хим. 2020. Том 56. № 2. С. 182-186.

4. Corey E.J., Chaikovsky M. Dimethyloxosulfonium methylide $((\text{CH}_3)_2\text{SOCH}_2)$ and dimethylsulfonium methylide $((\text{CH}_3)_2\text{SCH}_2)$. Formation and application to organic synthesis // J.Am.Chem.Soc. 1965. Vol. 87. N 6. P. 1353-1364.

5. Rao A., Paknikar S., Kirtane J. Recent advances in the preparation and synthetic use of oxiranes // Tetrahedron. 1983. Vol. 39. N14. P. 2323 – 2367.

6. Salives R., Dupas G., Guy Q. Solid-Phase Syntheses of 6- Arylpyridazin-3 (2H) - Ones // J. Comb. Chem. 2005. Vol. 7. N 3. P. 414-420.

7. Kutsuma T., Nagayama I., Okazaki N., Sakamoto T. Convenient Method for a Preparation of Oxiranes // Heterocycles. 1977. Vol. 8. N 1. P. 397-401.

8. Демлов Э., Демлов З. Межфазный катализ. М.: Мир, 1987, 485 с.

9. Rosenberger M., Jackson W., Saucy G. The Synthesis of β , γ - and α , β - Unsaturated Aldehydes via Polyene Epoxides // Helv. chim. acta. 1980. Vol. 63. N 6. P. 1665 – 1674.

10. Синтезы органических препаратов. М.: Ин. лит. 1949, сб.2, 142 с.

11. Rao D., Stuber F., Ulrich H. Base-catalyzed autoxidation of cyclic ketones // J. Org. Chem. 1979. Vol. 44. N 3, P, 456 – 458.

12. Синтезы органических препаратов, М.: Ин. лит. 1961, сб.11, 138 с.

13. Жунгиету Г., Будылин В., Кост А. Препаративная химия индола. Кишинев: Штиница, 1975, 83 с.

14. Colichman E., Love D. Polarography of sulfonium salts // J. Org. Chem. 1953. Vol. 18. N 1. P. 40 – 46.

CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE

АНАЛИЗ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА В РЕСПУБЛИКЕ ТАТАРСТАН

Мустафина Г.А.

*Бакалавр, Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
Республика Татарстан, г. Казань*

Красникова Н.М.

*к.т.н., доц., Казанский государственный архитектурно-строительный университет,
Республика Татарстан, г. Казань*

ANALYSIS OF RAW MATERIALS FOR HEAVY CONCRETE IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Mustafina G.

*Bachelor's student of Kazan State University of Architecture and Engineering,
Republic of Tatarstan, Kazan*

Krasnikova N.

*Ph.D., Associate Professor of Kazan State University of Architecture and Engineering,
Republic of Tatarstan, Kazan*

Аннотация

Представлен анализ применяемых сырьевых материалов для тяжелого бетона в РТ. Показано, что в Республике отсутствует сырьевая база для получения активных (вяжущих) материалов, что на территории Республики имеется только низкопрочные карбонатные породы, поэтому на сегодняшний день производители бетона не могут отказаться от привозного щебня из изверженных пород. Перспективное направление в Республике Татарстан – применение мелкозернистых бетонов. Мелкозернистые бетоны – это бетоны на мелком заполнителе с размером зерен менее 5 мм (песках). Это позволит устранить одну из сырьевых зависимостей РТ (после цемента) – в высокопрочном щебне.

Abstract

In this paper we have analyzed of raw materials for heavy concrete in the Republic of Tatarstan. Actually in the Republic doesn't have a raw material base for producing active (binding) materials, there are only low-strength carbonate rocks, but today manufacturers of concrete have to deliver crushed stone from igneous rocks from other places. The promising direction in the Republic of Tatarstan is the use of fine-grained concrete. Fine-grained concrete is concrete on a fine aggregate with a grain size of less than 5 mm (sand). This way will help solve the problem with dependence of Republic in the raw material in high-strength crushed stone.

Ключевые слова: карбонатные породы, минерально-сырьевые основы, воздушные вяжущие, песчано-гравийные материалы, фракционированный песок.

Keywords: carbonate rocks, mineral bases, air binders, sand and gravel materials, fractionated sand.

Рост российской экономики, а также развитие строительной индустрии страны ведет к повышенной необходимости потребления строительных материалов [1]. Например, если учитывать программное обеспечение развития, только, дорожного строительства, то потребности строительной промышленности в сырьевых ресурсах в целом увеличатся в 6-8 раз. Этим обуславливается поиск возможных вариантов уменьшения себестоимости, расширения минерально-сырьевой основы за счет применения местных сырьевых ресурсов, а также использования новейших результативных технологий их изготовления.

Территория ПФО, включая Татарстан, состоит из пород осадочного происхождения, среди которых карбонатные породы – известняки, доломиты. Исследования геологического фонда РТ [2] показали, что в плоскости территории РТ присущи пермские, юрские, меловые, неогеновые, а также четвертичные отложения. Значительная их доля показана алевритами и песчаниками, среди которых карбонатные пачки и прослои маломощны, а в

юрских, неогеновых и нижнемеловых отложениях и вовсе отсутствуют. Согласно данным ЦНИИ-геолнеруда [3], пригодны для инертных материалов, исключительно пермские отложения, однако и в их приповерхностном участке карбонатных пород недостаточно. В 44 регионах Татарстана карбоновые сырьевые материалы расположены неравномерно. Максимальное число месторождений, в том числе и малые, во Высокогорском, Альметьевском, Лениногорском регионах. Отсутствует месторождение карбоновых пород в Западном Закамье (Алексеевский, Аксубаевский, Алькеевский, Октябрьский регионы) также на востоке Республики (Мензелинский, Актанышский регионы).

Общие исследование о состоянии минерально-сырьевой основы Республики Татарстан свидетельствует о том, что в республике насчитывается около 350 месторождений карбоновых пород, из числа которых 68 предусматриваются балансами пильного, а также строительного камня, материала с целью изготовления извести, также известняковой муки и

магнезиальных вяжущих (в том числе, что 8 объектов проходят согласно 2 балансам) [4, 5]. Согласно сведениям, которые легли в основу «Концепции стратегии становления капитального строительства Республики Татарстан вплоть до 2030 года» [6], в текущий период РТ имеет в своем распоряжении следующие запасы карбонатного минерального сырья с целью изготовления: пильного камня – 15040 тыс. м³; щебня – 178140 тыс. м³; ; известковых вяжущих – 68540 тыс. т; декоративно-облицовочного камня – 830 тыс. м³; магнезиальных вяжущих – 3650 тыс. т; мелиорантов – 101890 тыс. т. м³.

Исследования применения [4, 5] карбонатного материала месторождений РТ свидетельствует о том, что в Республике в целом не добываются сырьевые материалы с целью производства следующих материалов: доломитового цемента и извести, отделочного камня, гидравлических вяжущих (романцемент, гидравлической извести, поргланцемент), огнеупоров, а также иных материалов.

В РТ отсутствует возможность изготовления воздушных вяжущих веществ на основе местного карбонатного материала, также не производятся ни доломитовая, ни кальциевая известь. Не изготавливаются в свою очередь и магнезиальные вяжущие. Такое явление характеризуется рядом факторов, одной из основных считается неустойчивость химического состава карбонатных пород.

Полное изучение состава карбонатных пород демонстрирует, что в разных составах число оксида магния способно меняться от уровня примеси вплоть до уровня главного компонента. Такое явление немаловажно при применении карбонатных пород с целью получения заполнителей для бетонов. Уровень доломитизации, при иных равных ситуациях, оказывает большое влияние на их прочность, причем с очевидной тенденцией к увеличению.

Таким образом, Республика Татарстан имеет только горные породы осадочного происхождения, с маркой по дробимости (по прочности) известняков и доломитов - в среднем М600. Поэтому весь высокопрочный щебень в Республику поставляют из Башкирии, Челябинской области и Карелии. Транспортные расходы в основном определяют его высокую стоимость. На сегодняшний день средняя цена гранитного щебня -1700 р/т.

Песчано-гравийные материалы (ПГС) считаются наиболее востребованным минерально-строительным видом сырья. При этом, Песчано-гравийные смеси, не рекомендуется применять в качестве заполнителей для бетонов из-за сегрегации смеси (расслоения), т.к. разность плотностей песка и гравия при перекачке материала (технологические переделы) приводит к большому разбросу качественных показателей бетонной смеси (водопотребности, подвижности, воздухововлечение) и бетона на ее основе (прочности, морозостойкости, долговечности).

Песчано- гравийную смесь согласно ГОСТ 23735-2014 «Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия» можно применять, только, для устройства нижних слоев оснований под дорожные покрытия, дренажирующих слоев, дорожных насыпей, временных автомобильных дорог, обратной засыпки котлованов, траншей, устройства подушек под монолитные фундаменты, отсыпки оснований под различные площадки, для планировки и благоустройства территории, для рекультивации и в других видах строительства, в соответствии с требованиями строительных норм и правил на соответствующие виды работ. Нестабильность свойств бетонной смеси и бетона на основе ПГС, привела ведущие предприятия РТ по выпуску ЖБИ к полному отказу использования песчано-гравийной смеси в качестве сырьевого компонента бетона (табл.1).

Таблица 1

Используемые заполнители на заводах ЖБИ и бетонных смесей

№	Наименование предприятий	Вид применяемого заполнителя
1	2	3
1	ООО «Казанский домостроительный комбинат», Казань	Гравий, Щебень из гравия, Щебень карбонат,песок
2	ООО «КЭСП», г. Нижнекамск	Щебень из гравия, Гравий, Щебень изверж., Песок
3	ООО «Домкор Инустрия», Набережные - Челны	Щебень изверж, гравий, песок
4	ООО «ЖБИ -2», Казань	Щебень, гравий, песок
5	АО «ЖБИ-метрострой», Казань	Щебень,песок
6	ООО «Объединенная бетонная компания», Казань	гравий, песок, щебень
7	ООО «ЦСС»	гравий, песок, щебень

Опрос (декабрь 2019 г) поставщиков нерудных материалов г. Казани по стоимости показал, что разница в себестоимости ОПГС (3-5 группы ПГС) и гравия не превышает 250 руб. Таким образом, использование ОПГС в качестве заполнителя в бетонной смеси технологически и экономически нецелесообразно.

Оптимальное решения использования ПГС – его рассев на составляющие. При этом, генетическое происхождение гравия (осадочная порода) определяет, как правило, его низкую прочность и морозостойкость. Следует отметить, что в ПФО гравий имеет повышенное (более 50 ммоль/л) со-

держание аморфного диоксида кремния, а это может привести к щелочной коррозии бетона конструкции.

Повысить физико-механические свойства гравия можно его дроблением. Так как при дроблении, разрушение идет по дефектной зоне, и полученный щебень из гравия будет иметь не только более высокие физико-механические характеристики, но и лучшее сцепление с цементным камнем.

Перспективное направление в Республике Татарстан – применение мелкозернистых бетонов. Мелкозернистые бетоны – это бетоны на мелком заполнителе с размером зерен менее 5 мм (песках). Это позволит устранить одну из сырьевых зависимостей РТ (после цемента). Следует понимать, что увеличение удельной поверхности заполнителя (песка) неизбежно приведет к увеличению расхода цемента (примерно на 25%) для достижения того же класса бетона по прочности на сжатие как у крупнозернового бетона. Мы предлагаем использование фракционированного песка, который значительно снизит эту негативную составляющую [7]. Варьируя изменения количественного содержания фракций, соответственно меняются и пустотность, и плотность, и удельная поверхность рассеянного песка. Так, например, при уменьшении пустотности песка с 0,394 до 0,366 и, соответственно его, удельной поверхности на связывания цементным тестом одного и того же /расхода песка (1850 кг) потребуется цементного теста на 83 кг/м³ меньше. Фракционирование песка позволяет нам получить актуальные во всем мире - высокопрочные бетоны (B55 и выше).

Пески для бетона добывают в основном в акватории Куйбышевского водохранилища. Основной объем добычи приходится в месторождение Молочная Воложка (Верхнеуслонский район).

Следует отметить, что в настоящее время фракционирование песка – малотоннажное производство из-за высокой стоимости процесса отсева песка на отдельные фракции (2,5 мм, 1,25 мм, 0,63 мм, 0,315 мм и 0,14 мм).

При выборе заполнителей производители бетонной смеси должны руководствоваться двумя правилами. Первое - морозостойкость заполнителя должна быть не ниже морозостойкости бетона. И - прочность заполнителя должна быть в два раза выше прочности бетона (B25(M350)).

Таким образом,

- для получения бетонов класса более B25 (M350) необходимо применять в РТ привозной щебень из изверженных пород;

- щебень из дробленного местного гравия целесообразно применять для бетонов класса B30 (M400);

- применение ПГС технологически и экономически нецелесообразно, к тому же это запрещено нормативными документами (ГОСТ 26633-2015, ГОСТ 23735-2014, СП 70.13330.2012);

- перспективным направлением является переход на высокопрочные песчаные бетоны (марка 700 и более). Однако, для этого нужно отработать технологию фракционирования песка.

Список литературы

1. Буткевич Г.Р. Промышленность нерудных строительных материалов. Взгляд в будущее // Строительные материалы. 2019. № 11. С. 32–36. DOI: 10.31659/0585-430X-2019-776-11-32-36

2. Васянов Г.П., Шишкин А.В. Составление кадастра карьеров по разработке твердых полезных ископаемых на территории Татарстана и создание банка данных на ПЭВМ. – Казань: ЦНИИгеолнефуд, 1994. – С. 46.

3. Шишкин А.В., Шевелев А.И. Возможности получения магнезиальных вяжущих из доломитов РТ // В кн.: Проблемы геологии твердых полезных ископаемых. – Казань, 1997. – С. 106-107.

4. Шаргородский И.Е., Тарасов Е.А., Бареев И.А. Обобщение и предварительный анализ материалов кадастра месторождений нерудных полезных ископаемых РТ // В кн.: Проблемы геологии твердых полезных ископаемых. – Казань, 1997. – С. 81-86. 6.

5. Методическое руководство по поискам, оценке и разведке твердых нерудных полезных ископаемых Республики Татарстан. Часть 1. – Казань: Из-во КГУ, 1999. – 256 с.

6. Перспективы развития инвестиционно-строительного комплекса Республики Татарстан. – Казань: Центр инвестиционных технологий, 2008. – 376 с.

7. Красникова Н.М., Морозов Н.М., Хохряков О.В., Хозин В.Г. Оптимизация состава цементного бетона для аэродромных покрытий // Строительные материалы, 2014, №2(28). – С.166-172

ELECTRICAL ENGINEERING

ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАГАТОЦІЛЬОВИХ СУДЕН ПОДВІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Волянська Я.Б.

*доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

Волянський С.М.

*доцент кафедри електричної інженерії суднових та роботизованих комплексів,
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*

м. Миколаїв, Україна

TASKS OF CONTROL SYSTEM'S AUTOMATION FOR MULTI PURPOSE DUAL-DUTY VESSELS

Volyanskaya Ya.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of electrical engineering of ship and
robotized complexes*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolayiv, Ukraine*

Volyanskiy S.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of department of electrical engineering of ship and
robotized complexes*

*Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Mykolayiv, Ukraine*

Анотація

Розроблено Simulink-модель просторового руху автономного плавального апарата подвійного призначення. Виконано оцінку точності моделювання просторового руху АПА ПП шляхом порівняння даних, отриманих при розрахунку на Simulink-моделі з приводами постійного та змінного струмів. Похибка не перевищує 25 %. Доказано адекватність розробленої Simulink-моделі, що дозволяє використовувати її при побудові й дослідженні систем керування електрорухом багатоцільових АПА ПП з приводами будь-якого роду струму.

Abstract

Developed a Simulink-model of spatial motion of an autonomous swimming dual-duty vessel. The accuracy of ASV DD spatial motion modeling was evaluated by comparing the data obtained when calculating the Simulink-model with DC and AC drives. The error does not exceed 25%. The adequacy of the developed Simulink-model is proved, that allows to use it at construction and research of control systems of electric movement of multipurpose ASV DD with drives of any kind of current.

Ключові слова: автономний плавальний апарат, моделювання, подвійне призначення, система керування.

Keywords: autonomous swimming apparatus, modeling, dual purpose, control system.

Постановка задачі.

Багатоцільовий автономний плавальний апарат (АПА) – це транспортний засіб, спеціальним чином пристосований для виконання ряду технологічних функцій, які зазвичай здійснюються декількома вузькоспеціалізованими плавальними апаратами. Багатоцільові АПА створюються з метою універсалізації застосування в різних кліматичних умовах і обстановці (соціальної, політичної, техногенної та ін.), для більш гнучкої та економічної експлуатації, вирішення різноманітних і нестандартних задач, при нестачі часу на проведення спеціальних операцій та інших обставин, ускладнюючих застосування вузькоспеціалізованих транспортних засобів.

Під поняттям АПА «подвійного призначення (застосування)» (ПП) маються на увазі об'єкти морської робототехніки, які можуть застосовуватися крім цивільних (мирних) цілей в тому числі і для

цілей військових. Галузь їх використання дуже широка: від використання у дуже важливих для сучасності системах захисту акваторії морського порту, морських нафто-газодобувних платформ, пунктів базування військових флотів, виявлення та відлякування піратів (з дотриманням правових норм), протидії незаконній міграції, вилову риби та морепродуктів, наркотрафіку, екологічного моніторингу до використання у системі технічного обслуговування та ремонту.

Головною тенденцією сьогодення є практичне злиття цивільного й військового секторів у галузі проектування і побудови об'єктів морської робототехніки. Світовим лідером у виробництві цивільної морської робототехніки є Японія. За загальною кількістю роботів Японія значно випереджає Німеччину і США. При цьому у Європі цей показник складає – 80, в Америці – 68, в Азії – 47 одиниць [1].

Сучасні АПА ПП – чисельний клас динамічних систем, що функціонують в умовах значного впливу зовнішнього середовища [2], здатні ефективно вирішувати низку важливих задач різного призначення, обсяг яких постійно розширюється. У зв'язку з цим спостерігається постійне підвищення вимог щодо їх маневреності, функціональних можливостей, продуктивності виконуваних робіт, що передбачає удосконалення автоматизованих систем керування об'єктів морської робототехніки. Такі системи повинні забезпечувати точну стабілізацію, динамічне позиціонування і орієнтацію АПА ПП в географічній точці водного простору.

Розробка автоматизованих систем керування АПА ПП та методів їх моделювання завжди знаходилися в центрі уваги провідних учених [2–4]. Але, незважаючи на суттєві досягнення в цьому напрямку, однією з актуальних задач, пов'язаних з проектуванням та експлуатацією подібних об'єктів морської робототехніки, залишається задача створення високоякісних систем керування, які повинні забезпечувати бажану динаміку і точність відпрацювання програмних траєкторій руху [5].

Мета роботи

Дослідження моделі просторового руху багатоцільового АПА ПП з приводами постійного та змінного струму.

Основний матеріал

Сьогодні для проектування багатоцільових АПА ПП з необхідними параметрами використовують різні підходи, які часто носять емпіричний характер [6]. Для розробки досконалих АПА ПП будують складні дослідницькі установки, проводять безліч вимірів, для обробки даних залучають кваліфікований персонал, все це вимагає суттєвих фінансових витрат. Таких недоліків позбавлений математичний підхід до рішення цієї задачі.

Метод математичного моделювання є найбільш поширеним методом дослідження морських рухомих об'єктів, оскільки відрізняється високою точністю та практично необмеженими можливостями по обліку нелінійностей будь-якого харак-

теру. Дослідження, проведені за допомогою математичної моделі, нерідко називають експериментом на моделі [7].

Математичне моделювання керованого руху АПА ПП може бути представлене сукупністю інформаційних, електромеханічних і гідромеханічних систем як складових об'єкту керування, що взаємодіють між собою.

При розробці математичної моделі елементів АПА ПП [8, 9] прийняті наступні загальні допущення, які не спотворюють фізики явищ, що протікають в об'єкті дослідження: вода як робоче середовище розглядається як ідеальна незбурена рідина; для кожного ступеня свободи АПА ПП має відповідний двигун; вектори тяги рушіїв і сили зовнішніх збурень прикладаються до центру мас АПА ПП і не створюють диферент і крен; насиченням магнітопроводів електродвигунів і нелінійними залежностями механічних елементів нехтуємо; АПА ПП у воді має нульову плавучість.

Для математичного моделювання просторового руху АПА ПП в даній роботі було використано додаток візуального програмування Simulink до пакету MATLAB, що дає можливість отримати наочне уявлення про потоки інформації, що протікають, оцінювати поведінку систем АПА ПП в різних режимах без проведення фізичного експерименту при відповідній верифікації використовуваних математичних моделей.

Дослідження були проведені для підводної системи з апаратом масою 45 кг, гребним гвинтом діаметром 20 см, редуктором з передавальним числом 1:4,5 і електродвигуном потужністю 400 Вт з номінальною швидкістю обертання 5500 об/хв. Розроблена Simulink-модель представлена на рис. 1.

Блок «Subsystem1» виконує функцію завдання вхідного сигналу для системи. Оператор самостійно обирає необхідний варіант реалізації сигналів – ступінчасті, синусоїдальні, періодичні, за заданою програмою. Блок «Subsystem2» використовується для диференціювання сигналу зворотного зв'язку.

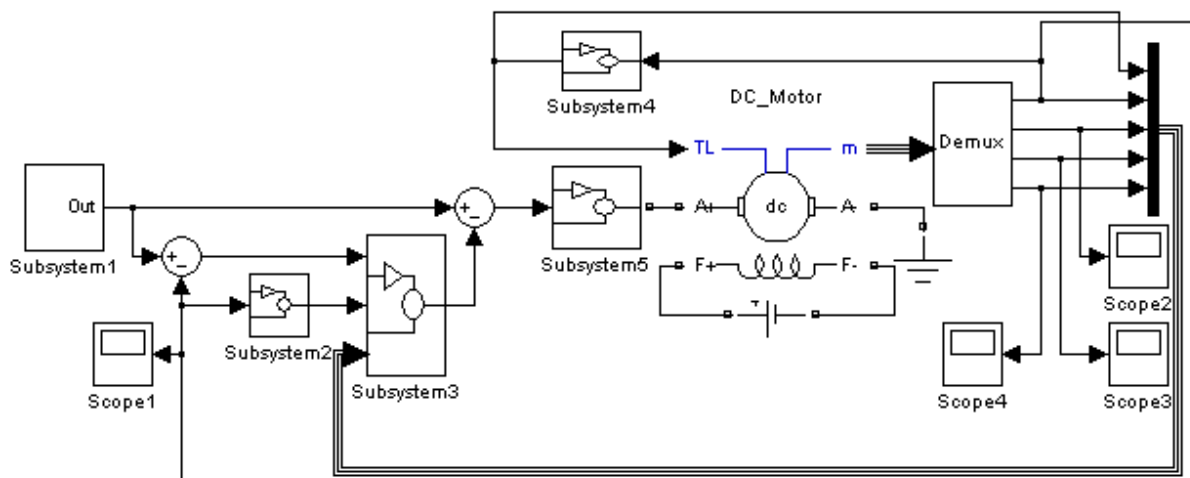


Рис. 1. Загальний вигляд системи моделювання просторового руху АПА ПП з приводом постійного струму

Основну функцію системи керування виконує блок «Subsystem3». У нього стікається вся інформація про стан системи, обробляється блоком нечіткої логіки і виробляється рішення на підставі бази правил (рис. 2).

У блоці «Subsystem4» проводиться апроксимація безрозмірних динамічних характеристик гвинта K_T і

K_Q , K_p і K_m за заздалегідь заданими в табличному вигляді функціям від відносного ходу J . Далі обчислюється упор і гальмівний момент гвинта і передаються для подальшої обробки в блоці двигуна і блоці нечіткої логіки. У цьому ж блоці можуть формуватися і враховуватися при моделюванні зовнішні збурюючі впливи.

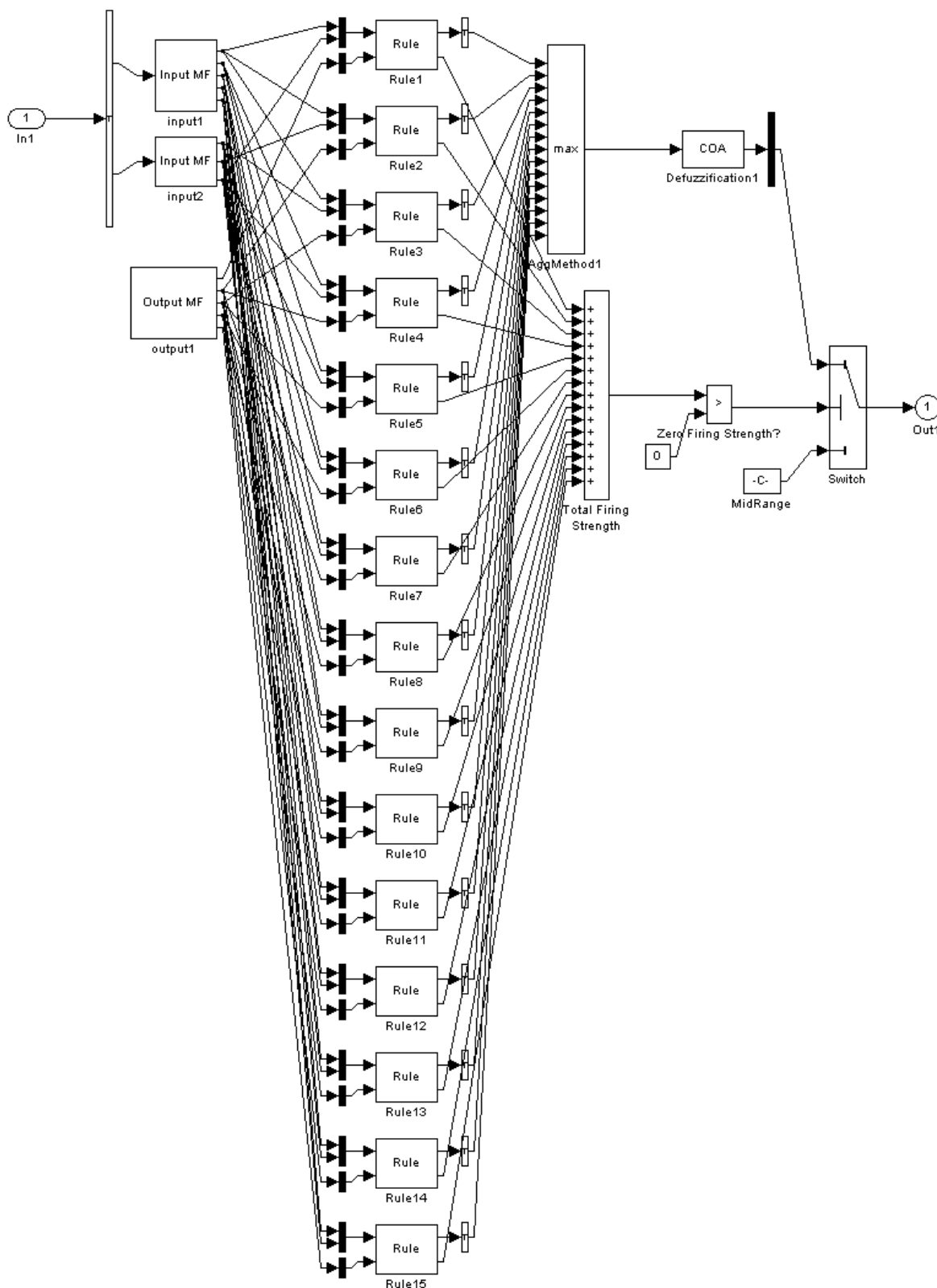


Рис. 2. Склад блоку «Subsystem3»

Блок «Subsystem5» імітує роботу джерела живлення з вбудованим ШІМ-регулятором. Керуючий сигнал надходить від блоку нечіткої логіки і має жорсткий зв'язок з вихідним.

Блок «DC_Motor» моделює роботу машини постійного струму.

Блок «Demux» візуалізує сигнали від блоку «DC_Motor» і готує їх для передачі в систему.

Блоки «Score1» – «Score4» необхідні для отримання графіків значущих для дослідження параметрів, наприклад, висоти АПА над ґрунтом, вертикальної швидкості, кількості оборотів гребного гвинта, сили струму якоря гребної енергетичної установки, керуючої напруги, що задає сигнал і сили зовнішнього збурення.

Результати моделювання представлені на рис. 3, де показані графіки керуючого сигналу u_z , упору вертикального рушія T , вертикальної швидкості \mathcal{G}_z і висоти АПА над ґрунтом h для прямого пуску з класичним ПД-регулятором в системі підтримки заданої швидкості обертання гребного гвинта АПА у вільній воді і керованого пуску з системою керування заснованою на нечіткій логіці. Для другого випадку керування

проводилося за двома параметрами – помилкою і диференціалом помилки швидкості.

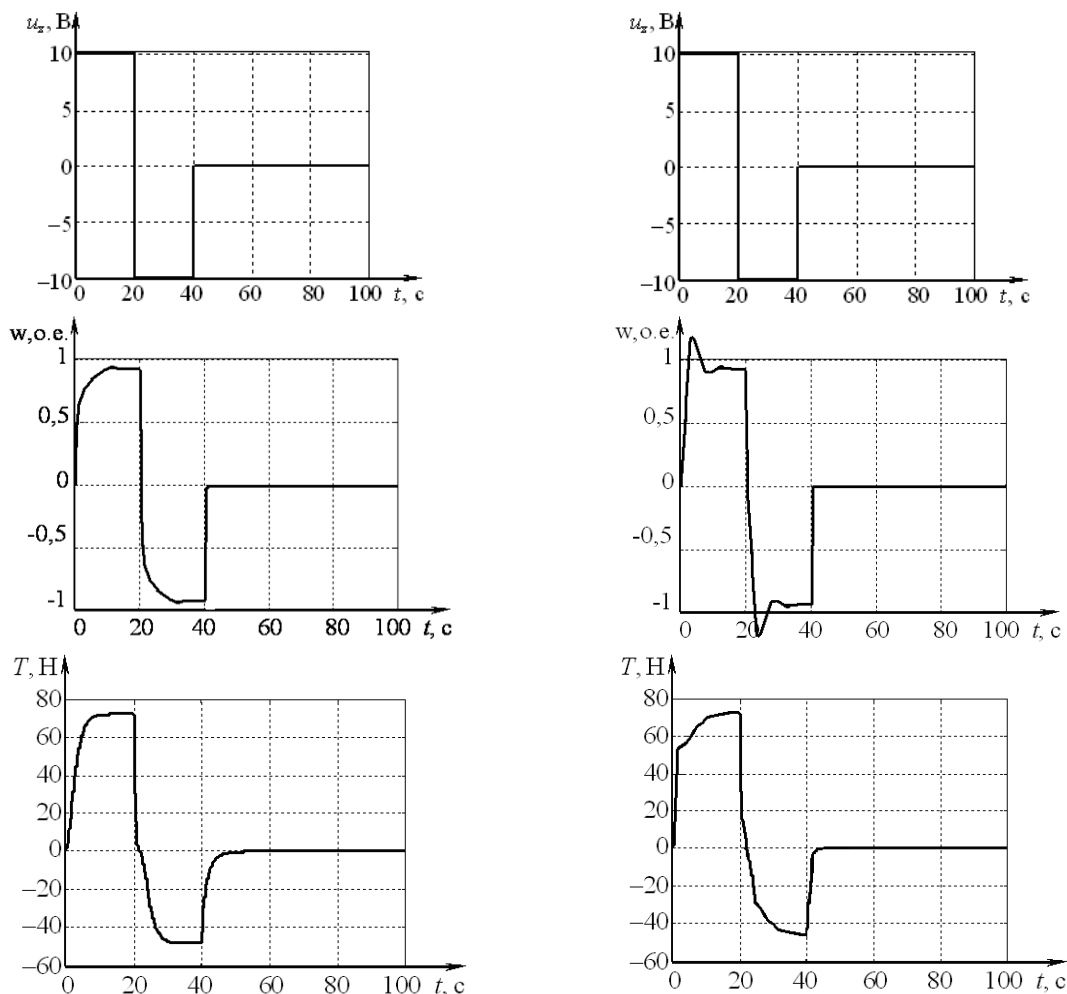
За даними графіків (рис. 3) можна стверджувати, що система керування на базі нечіткої логіки дозволяє знизити переколювання практично до нуля, а сам перехідний процес скоротити в два рази, що в свою чергу веде до скорочення енергетичних і тимчасових витрат на виконання поставленого перед АПА завдання.

За результатами моделювання отримуємо наступні характеристики АПА:

– в швартовному режимі максимальні упори вертикального рушія складають $72H$ при спливанні і $48H$ при зануренні;

– в режимі вертикального руху максимальна швидкість АПА становить $0,5$ м/с при спливанні і $0,4$ м/с при зануренні.

Тенденції розвитку силової напівпровідникової техніки дозволяють більш широко використовувати асинхронні двигуни в якості приводу гребного гвинта АПА ПП. При цьому можна отримати практично такі ж жорсткі характеристики, як і з приводом постійного струму.



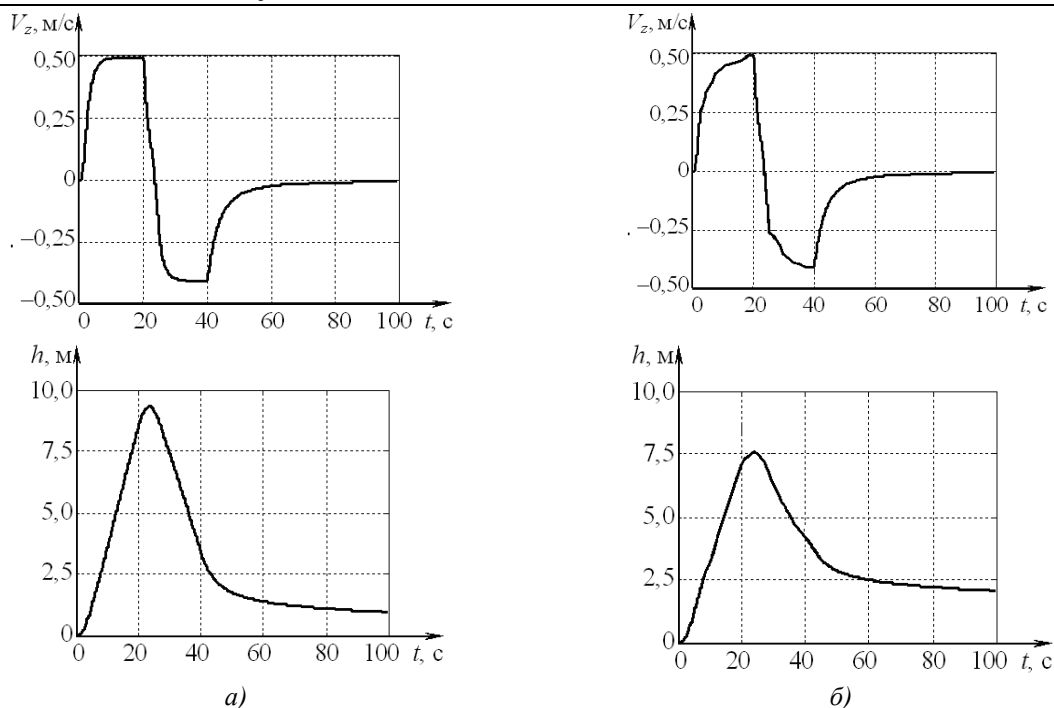


Рис. 3. Моделювання просторового руху АПА ПП з приводом постійного струму: а) під час руху АПА ПП у вільній воді; б) керованого пуску з системою керування заснованої на нечіткій логіці

Ще одна з переваг – можливість установки гребного гвинта безпосередньо на вал двигуна (минаючи механічний перетворювач – редуктор), що в свою чергу підвищує ККД системи, керованість, спрощує моделювання, зменшує масогабаритні показники. Для проведення досліджень взяті ті ж

вихідні дані, що і в попередньому дослідженні, але без редуктора, з насадженим на вал двигуна гребним гвинтом, номінальною потужністю 250 Вт і номінальною частотою обертання 1380 об / хв. Розроблена Simulink-модель представлена на рис. 4.

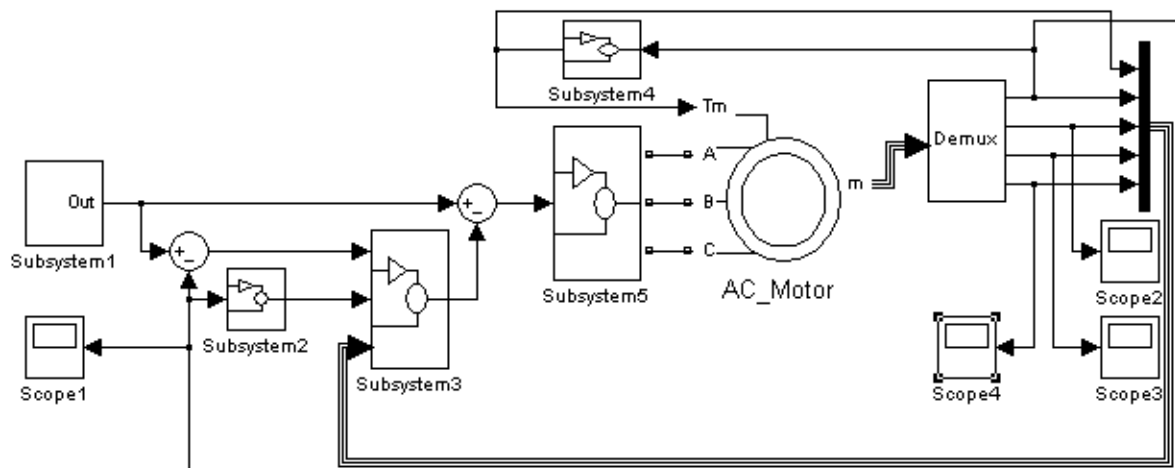


Рис. 4. Загальний вигляд системи моделювання просторового руху АПА ПП з асинхронним короткозамкненим приводом

Дана модель має кілька відмінностей від моделі (рис. 1):

- блок «Subsystem5» імітує роботу джерела змінного струму з вбудованим ШІМ – регулятором. Керуючий сигнал надходить від блоку нечіткої логіки і має жорсткий зв'язок з вихідним.

- блок «AC_Motor» моделює роботу асинхронного короткозамкненого двигуна.

- блок «Demux» візуалізує сигнали від блоку «AC_Motor» і готує їх для передачі в системі.

Блоки завдання керуючого впливу, візуалізації сигналів, нечіткої логіки, апроксимації упору використовуються такі ж, що і в попередньому дослідженні. Така уніфікація дозволяє говорити про можливість проведення на запропонованій моделі досліджень приводів будь-якого роду струму.

За результатами моделювання отримані характеристики АПА ПП, аналогічні характеристикам при моделюванні системи з приводом постійного струму.

Висновки.

Результати моделювання просторового руху АПА ПП з приводами різного роду струму відрізняються незначно (до 8%), що в основному зумовлено відмінностями номінальних частот обертання гребного гвинта (постійний струм – 1220 об/хв, змінний –1380 об/хв.) та відмінними механічними характеристиками приводів. На підставі проведених досліджень та зрівняння з результатами натурних експериментів, отриманих при синтезі математичної моделі просторового руху АПА ПП, можна стверджувати, що розроблена Simulink-модель в середовищі Matlab дозволяє проводити подальші дослідження просторового руху АПА ПП з приводами будь-якого роду струму.

Розроблена модель адекватна, що дає можливість використовувати її для дослідження ефективності різних типів регуляторів в системі керування рухом АПА ПП і отримання необхідних характеристик приводів. Спільне ж використання цієї моделі й спеціалізованого моделюючого комплексу [10] розробленого і створеного в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова дозволяє проводити комбіноване дослідження електроприводів будь-якого роду струму з можливістю паралельного відпрацювання алгоритмів керування на моделі і апробації їх на натурному експерименті.

Список літератури

1. Буренок В. М. Развитие военных технологий XXI века: проблемы планирование, реализация/ В. М. Буренок, А. А. Ивлев, В. Ю. Корчак. – Тверь: Издательство ООО «КУПОЛ», 2009. – 624 с.
2. Агеев М. Д. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / М. Д. Агеев. – М.: Наука, 2005. – 398 с.

3. Tavares Durval The Hybrid AUV/ROV / Durval Tavares // Marine Technology Reporter. – 2017. – Vol. 60. – № 8. – P. 48–49.

4. Блінцов С. В. Автоматичне керування автономними підводними апаратами в умовах невизначеності / С. В. Блінцов. – Миколаїв: ТОВ «Фірма «Іліон», 2008. – 204 с.

5. Budashko V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex / V. V. Budashko // Electrical engineering & Electromechanics. – 2017. – № 2. – P. 62–72.

6. Odegard V. Nonlinear identification of ship autopilot models / V. Odegard // Norwegian University of Science and Technology. – 2009. – P. 100–107.

7. Бобков В. А. Программный комплекс моделирования пространственного движения автономного подводного аппарата / Филаретов В. Ф., Бобков В. А., Юхимец Д. А., Мельман С. В., Борисов Ю. С. // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2007. – № 1. – С. 8–13.

8. Volyanskaya Ya. Synthesis of mathematical model of controlled electromotive device of pilotless floating vehicle / Ya. Volyanskaya // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 172 (2018), 012008. – Режим доступу: doi:10.1088/1755-1315/172/1/012008 (дата доступу 14.07.2018).

9. Юдин Ю. И. Идентификация математической модели судна / Ю. И. Юдин, С. В. Пашенцев. – М.: Моркнига, 2015. – 141 с.

10. Volyanskaya Ya. Development of specialized modeling complex to study control systems of movable maritime objects / Ya. Volyanskaya, S. Volyanskiy // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2017. – № 1/9 (85). – P. 26–33.

MATERIALS SCIENCE AND MECHANICS OF MACHINES

ОСОБЛИВОСТІ МАНЕВРУВАННЯ КУРСОМ У СИТУАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗБЛИЖЕННЯ

Піпченко О.Д.

канд. техн. наук, Національний Університет «Одеська Морська Академія», м. Одеса, Україна

FEATURES OF SHIP HEADING MANEUVERING IN CLOSE QUARTERS SITUATION

Pipchenko O.

PhD in Technical Sciences, National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine

Анотація

У даній роботі проаналізовані особливості маневрування судна у ситуації небезпечного зближення у перспективі «Міжнародних правил запобігання зіткненню суден» (МППЗС) і маневрених характеристик сучасних суден.

Доопрацьовано алгоритм визначення мінімальної дистанції до прогнозованої точки зіткнення суден, на якій можна виконати маневр циркуляції з перекладкою стерна на борт. Ця дистанція залежить від виду виконуваного судном маневру, кута перетину курсів і розмірів суден.

Отриманий алгоритм дозволяє аналітично визначити межі зони небезпечного зближення і, зважаючи на це, дати оцінку безпеки ситуації.

Abstract

This study analyses the features of manoeuvring in a close quarters situation with regard to the International Regulations for Preventing Collisions at Sea (COLREGs) and manoeuvring characteristics of modern vessels.

The program algorithm for determining the minimum distance to the estimated point of collision, at which vessel can perform a turning circle manoeuvre applying rudder angle, was improved. This distance depends on the manoeuvre performed, the crossing angle and vessels` dimensions.

The resulting algorithm allows to analytically determine the boundaries of close quarters region and thus assess the situation.

Ключові слова: навігаційний інцидент, зіткнення суден, маневрування судна, оцінка безпеки зіткнення, ситуація небезпечного зближення, прогнозована зона найкоротшого зближення, маневр останнього моменту.

Keywords: navigational incident; ship collision; ship manoeuvring; collision risk assessment; close quarters situation; estimated close quarters region; last moment manoeuvre.

Вступ

Зіткнення суден є одним з найсерйозніших навігаційних інцидентів. Вони часто стають причиною забруднення навколишнього середовища, втрати судна, загибелі людей. Згідно з даними Європейського асоціації з морської безпеки на суднах під європейськими прапорами та у водах Євросоюзу за останні п'ять років сталося 1352 зіткнення. До того ж серед аварій, що призвели до значного забруднення, втрати судна або загибелі людей, зіткнення посідають третє місце [3, 14].

Проблема оцінки безпеки зіткнення не є новою і була досліджена багатьма авторами. Зростання інтенсивності судноплавства та габаритів суден з одного боку і технологічний прогрес з іншого обумовлюють появу більш досконалих методів оцінки безпеки зіткнення і підтримки прийняття рішень судноводіїв.

Аналіз розслідувань зіткнень (рис. 1) показує, що у більшості випадків аварії відбувалися або в результаті неправильного рішення судноводія, або через недостатню оцінку ситуації [3, 4, 14]. Це також було підтверджено результатами оцінки дій судноводіїв при відтворенні аварійної ситуації на тренажерах [17]. Часто простежується ситуація, коли судноводії продовжують вести радіопереговори, незважаючи на те, що зіткнення вже не можна уникнути.

Це, в свою чергу, означає, що судноводії не усвідомлюють настання ситуації *маневру останнього моменту* (МОМ). «Останній момент» практично характеризує поріг часу, після проходження якого зіткнення відбудеться незалежно від вживаних дій.

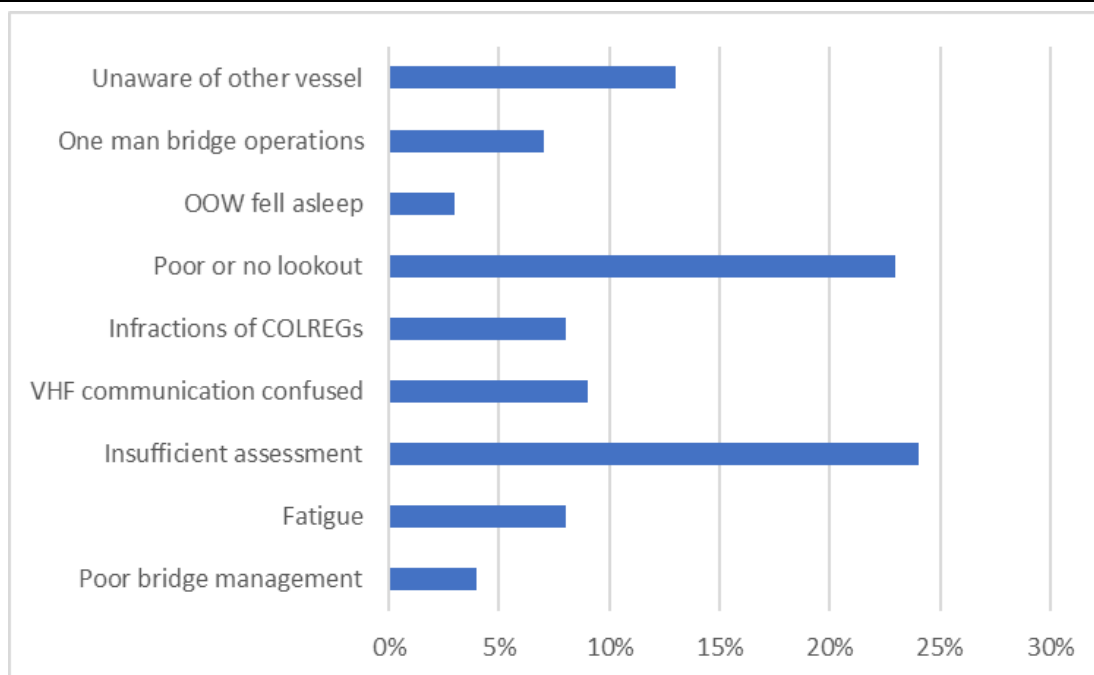


Рис. 1. Причини зіткнень морських суден

Дослідження та рекомендації щодо визначення «останнього моменту» наведені в ряді публікацій [4, 7, 11, 12, 13].

У статті [11] показана математична модель для ситуації зближення суден на пересічних курсах. У роботі [11] наведені методи розрахунку геометричних параметрів маневру та рекомендації щодо вибору МОМ: циркуляція на лівий або правий борт, гальмування. У роботі [12] запропоновано емпіричний спосіб оцінки ситуації небезпечного зближення.

Однак в цих публікаціях при розрахунку геометричних параметрів маневру значення швидкості маневруючого судна вважається постійним, в той час як на циркуляції швидкість зменшується практично в два рази, що впливає і на час, і на дистанцію розходження. Розміри суден також мають критичне значення при розходженні на близьких дистанціях, особливо враховуючи те, що сучасні великотоннажні судна досить часто мають довжину 300-400 метрів. Найбільш коректно це враховано в роботі [7], де зіткнення визначається з умови перетину двох геометричних областей, які характеризують судна. Водночас всі розрахунки в роботі [7] були отримані в істинному русі, а основним параметром при розрахунках є мінімальна дистанція між суднами. У такому випадку значно збільшується кількість можливих сценаріїв розвитку ситуації розходження, що, відповідно, призводить до значного збільшення ітерацій і погіршення точності в роботі алгоритму визначення ймовірності зіткнення.

У роботі [12] оцінка небезпечної ситуації проводиться відносно прогнозованої точки зіткнення, що є більш коректним, проте функція визначення мінімальної дистанції до цієї точки залежить тільки від довжини і швидкості судна, що не дозволяє врахувати його маневрені характеристики.

Визначення «останнього моменту» і «дистанції небезпечного зближення» є важливим не тільки для того, щоб позначити судноводію момент початку виконання аварійного маневру, але і, в залежності від маневрених властивостей і розмірів судна, провести оцінку ситуації загалом і визначити безпечну дистанцію та час найкоротшого зближення, що на сьогоднішній день є можливим завдяки даним, одержуваним з АІС (автоматичної ідентифікаційної системи).

Задачею даного дослідження є розробка методу визначення останнього моменту для аварійного маневрування курсом судна.

Виклад матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів

У правилах запобігання зіткненню МППЗС [2] наведено термін *close quarters* – *небезпечне зближення*. Однак офіційне визначення цього терміну в публікаціях ІМО не наводиться.

Буде логічно зробити висновок, що МОМ виконується в ситуації небезпечного зближення суден, при цьому *останній момент* – момент часу, після котрого зіткнення відбудеться незалежно від вживаних дій.

Звідси, *маневр останнього моменту (МОМ)* – маневр, що призводить до розходження суден на найкоротшій дистанції, яка прагне до нуля.

МОМ можна розділити на два види:

- *одиначний* – маневр, що здійснюється одним судном, за умови, що інше зберігає курс і швидкість;
- *взаємний* – маневр, що здійснюється обома суднами.

Схема виконання МОМ показана на рис. 2.

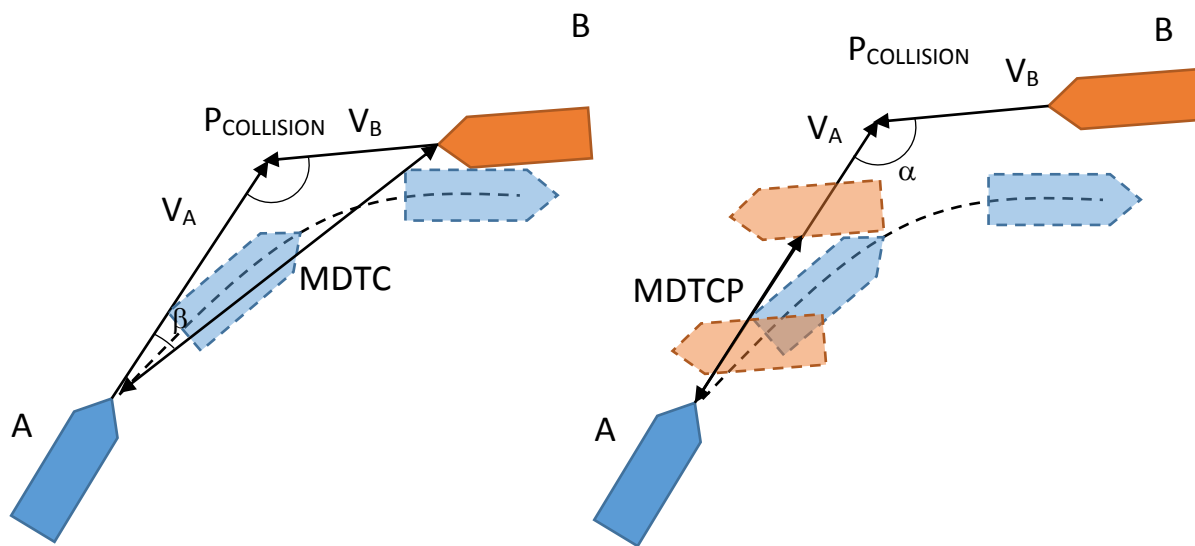


Рис. 2. Маневр останнього моменту. Зліва – істинний рух. Праворуч – визначення MDTCP шляхом видалення судна B за курсом судна A.

Для програмної реалізації алгоритму оцінки небезпеки зіткнення з урахуванням розмірів судна справедливо буде наступне:

Лема 1: небезпека зіткнення існує, якщо пеленг β на інше судно з плином часу не змінюється, при швидкості зближення суден $V_{COLLISION}$ не рівній нулю.

Лема 2: зіткнення суден A і B, визначених відповідними множинами точок настає, коли $A \cap B$.

Якщо судна маневрують, тоді зіткнення суден A і B, визначених відповідними множинами точок настає, коли геометричні множини точок їх траєкторій $AA \supset A$ і $BB \supset B$ перетинаються: $AA \cap BB$.

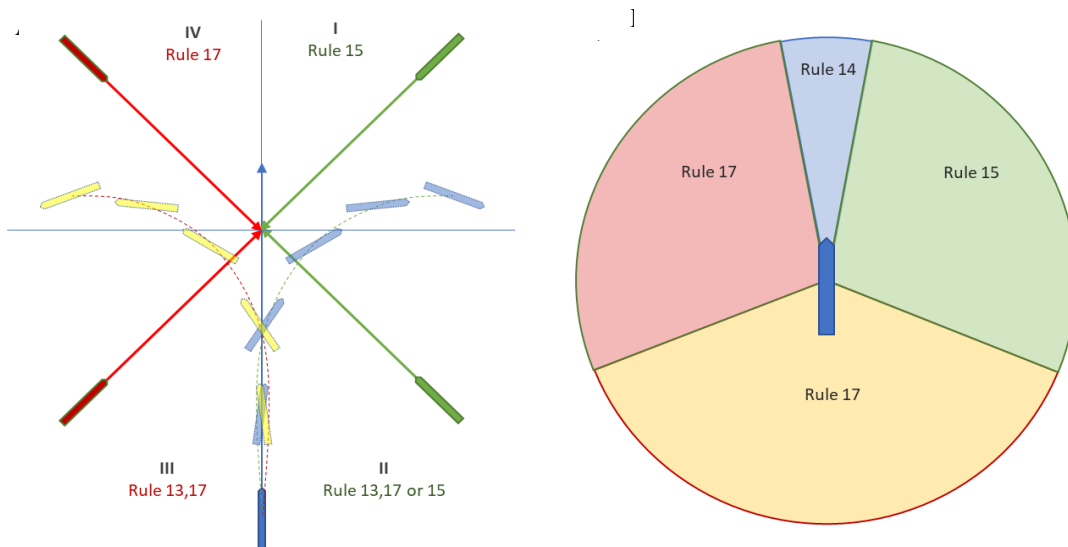


Рис. 3. Маневр останнього моменту у перспективі правил МППЗС

За умови, що після початку маневру судно не змінює задані параметри управління (наприклад, кут перекладки стерна або оберти гвинта), його траєкторія на тихій воді буде незмінною.

Також слід враховувати наступне:

- Маневр циркуляції є набагато більш ефективним, ніж маневр активного гальмування. Так висув на циркуляції відповідно до стандартів ІМО [6] повинен бути не більше $4.5-5L$ (L – довжина судна), в той час як дистанція активного гальмування – не більше $15-20L$.
- Параметри циркуляції з усталеного режиму ходу мало залежать від швидкості судна [4].

Так різниця між висувом на повному і малому ході становить близько 10-15%.

Згідно з МППЗС і прийнятою практикою судноводіння кращим маневром у більшості випадків, особливо в разі маневру останнього моменту, є відворот вправо. З іншого боку, з результатів математичного моделювання (рис. 4. б і г) видно, що при маневрі у бік судна-цілі (рис. 3, чверті II і IV) зіткнення може відбутися не в прогнозованій зоні найкоротшого зближення, а далі по траєкторії руху відвертаючого судна. Слід зазначити, що водночас Правило 15 не забороняє відворот вліво для судна, що поступається дорогу, а Правило 17 забороняє

«змінювати курс вліво, якщо інше судно знаходиться зліва від нього».

Отже, для судна-цілі, що знаходиться в II-й чверті, логічно віддати перевагу маневру вліво у бік від нього. Судно-ціль, що знаходиться в IV-й чверті, зобов'язане слідувати Правилу 15 і може почати відвертати вправо, що в підсумку може призвести до зіткнення поза прогнозованої зони найкоротшого зближення. Відповідно, в чвертях I, III, IV маневр останнього моменту необхідно виконувати вправо.

У статті [7] автори застосовують моделі динаміки суден без урахування збурюючих впливів. Судна віддаляються одне від одного, поки їх траєкторії і геометричні множини відносно цих траєкторій не будуть перетинатися. Мінімальна відстань між суднами MDTC (minimum distance to collision) є функцією швидкості взаємного зближення суден $V_{COLLISION}$, кута перетину курсів α , масиву параметрів маневру M і розмірів суден:

$$MDTC = f(V_{COLLISION}, \alpha, M, BB, AA) \quad (1)$$

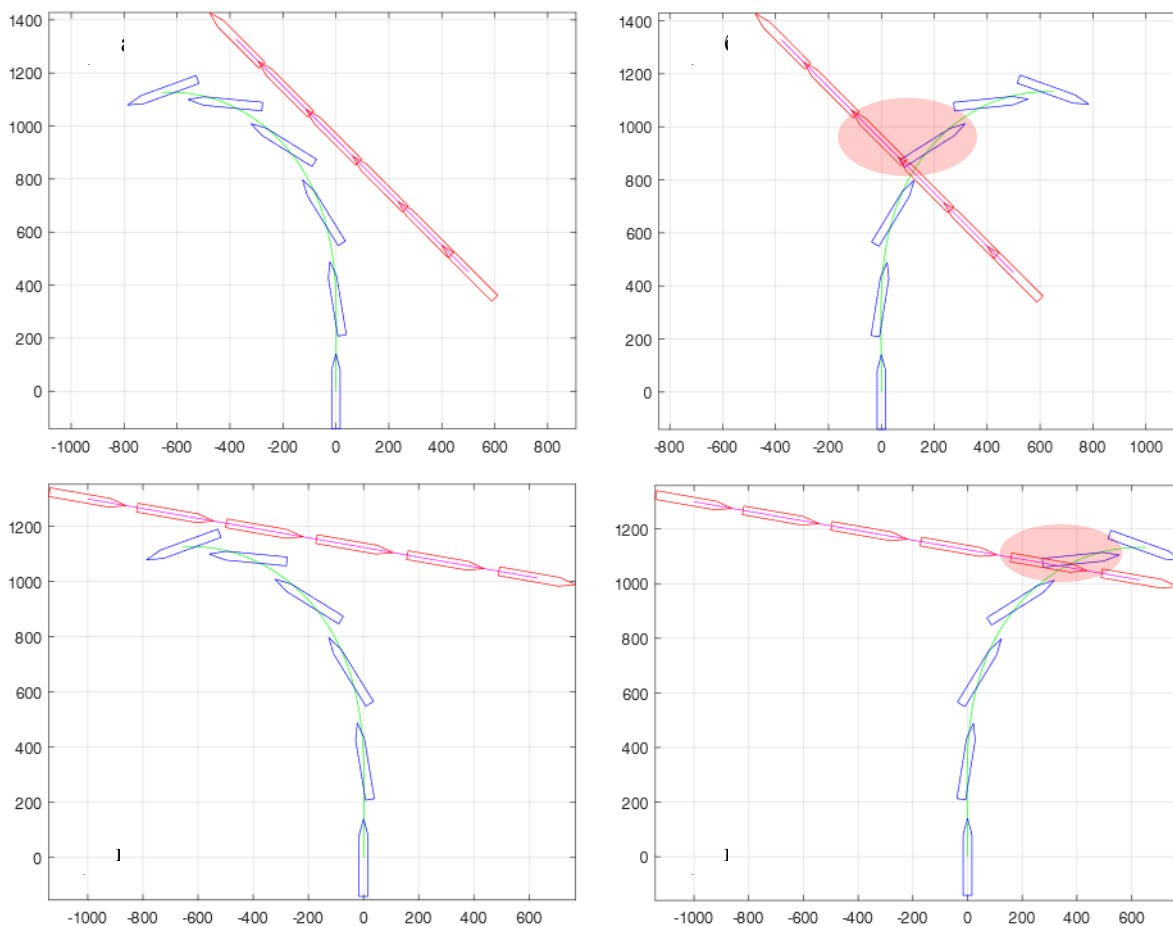


Рис. 4. Відхилення від судна циркуляцією з перекладкою стерна на борт

Теорема. Якщо небезпека зіткнення існує, і маневр виконується одним судном, для одного значення мінімальної дистанції до точки зіткнення $MDTSP(\alpha, M, B, AA)$ існує множина $MDTC(V_A, V_B)$.

У разі *одиначного* маневру судно-ціль зберігає свої курс та швидкість. Таким чином, буде справе-

дливим твердження, що, незалежно від маневру судна А, судно В опиниться в прогнозованій точці зіткнення $P_{COLLISION}$ з курсом ψ_B .

Для того щоб знайти $MDTSP$, завдання вирішується інверсним способом від моменту зіткнення (рис. 2). Судно В під кутом α розташовується у початковій позиції судна А, а потім віддаляється за

Масив M характеризує параметри управління судном в найзагальнішому випадку – кут перекладки стерна δ і режим ходу n .

Якщо $\alpha = 0$ – курси суден співпадають, якщо $\alpha = 180$ – курси суден протилежні. Такий підхід не дозволяє отримати однозначного вирішення задачі, так як при одному значенні $MDTC$, але різних швидкостях зближення суден, небезпеки зіткнення може не бути.

За умови сталості траєкторій обох суден задачу визначення $MDTC$ у роботі [15] запропоновано вирішувати відносно точки передбачуваного зіткнення, від початку визначаючи дистанцію до цієї точки $MDTSP$ (minimum distance to a collision point).

$MDTSP$ – мінімальна дистанція до розрахункової точки зіткнення, на якій планований маневр буде ефективним; геометрично визначається як відстань між найближчими одна до одної точками множин A і B .

курсом судна А з кроком α до тих пір, поки множина точок AA не перестане перетинатися з В. Ди-

станція між початковою позицією судна А і позицією судна В, в якій $B \notin AA$ визначається як MDTCP.

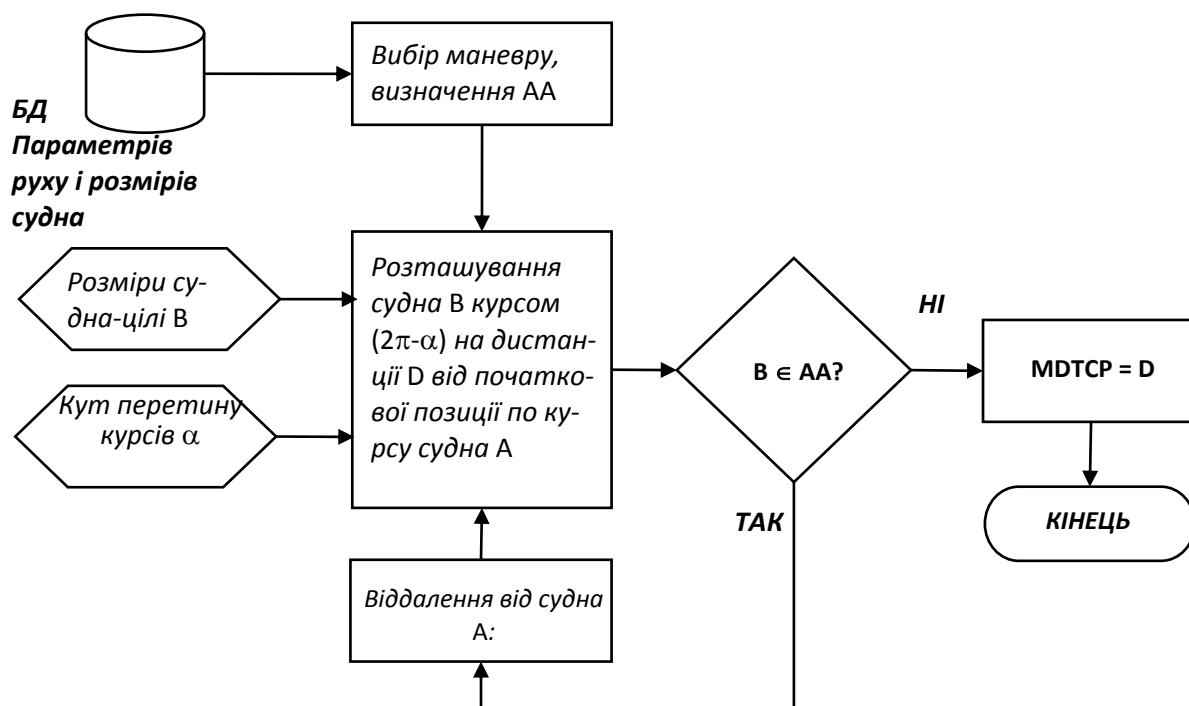


Рис. 5. Блок-схема алгоритму програми визначення MDTCP

У даному випадку при вирішенні задачі немає необхідності враховувати швидкість руху суден:

$$\text{MDTCP} = f(\alpha, M, B, AA) \quad (2)$$

Дві досліджувані дистанції пов'язані між собою як:

$$\text{MDTC} = \text{MDTCP} \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (3)$$

Умова зіткнення суден передбачає, що істинні вектори руху суден зімкнуться в одній точці $P_{\text{COLLISION}}$. Звідси, швидкість взаємного зближення визначається за теоремою косинусів:

$$V_{\text{COLLISION}} = \sqrt{V_A^2 + V_B^2 - 2V_A V_B \cos \alpha} \quad (4)$$

Оскільки курсовий кут $\beta = \text{const}$, незалежно від відстані між суднами:

$$\beta = \sin^{-1} \left(\frac{V_B \sin \alpha}{V_{\text{COLLISION}}} \right) \quad (5)$$

Звідси, для одного значення MDTCP існує множина $\text{MDTC}(V_A, V_B)$.

Алгоритм програми визначення MDTCP наведено на рис. 5.

Для того щоб реалізувати описаний метод визначення мінімальної дистанції до точки зіткнення, в середовищі Matlab Simulink R2016b автором була написана відповідна програма. Розрахунки були проведені для контейнероза класу панамакс (довжина – 282 м, ширина – 32 м, осадка – 12.2 м). Криві циркуляцій були отримані методом математичного моделювання маневрування судна на площині на базі робіт [8, 9, 16] та звірені з даними маневреного буклету. Параметри циркуляцій наведені в табл. 1.

Параметри циркуляції контейнеровоза класу панамакс

Параметр	Кут перекладки стерна		
	10°	20°	35°
Висув, м	1495	1128	930
Тактичний діаметр, м	1971	1470	1152
Початкова швидкість, вузлів	24	24	24
Швидкість на момент повороту на 90°, вузлів	18.9	16.7	14.5

Перетин двох множин точок у Matlab визначається за допомогою функції **inpolygon**.

Відповідно, частина коду для визначення MDTCP буде виглядати наступним чином:

```
while (MDTCP < 1)
for i = 1 : numel (H)
in(:,i) = inpolygon(xHs(i),xYs(i), xHt(j),xYt(j));
end
crossed = sum(sum(in));
if (crossed == 0)
MDTCP = xYtC;
end
end
```

де H – кількість відображень корпусу судна по траєкторії руху;

$xHs(i), xYs(i)$ – координати поточного відображення судна;

$xHt(i), xYt(i)$ – координати поточного відображення судна-цілі;

$crossed$ – 1 у разі перетину; 0, якщо перетину не було;

$xYtC$ – ордината центру поточного відображення судна-цілі.

На рис. 3б також видно, що при збільшенні розмірів суден, MDTCP збільшується. Зменшення MDTCP на зустрічних курсах пов'язано з тим, що

алгоритм визначає дистанцію від носа судна до найближчої точки судна-цілі. Отже, коли судно-ціль проходить до нас на зустрічному курсі, близькому до паралельного, рухаючись справа наліво, MDTCP буде тим менше, чим довше судно-ціль. Зворотна ситуація буде спостерігатися, якщо судно буде рухатися зліва направо.

Недоліком описаного підходу є те, що при відвороті у бік судна-цілі (рис. 3, б і г) зіткнення може відбутися не в прогнозованій зоні найкоротшого зближення, а далі по траєкторії руху відвертаючого судна. Більш точно визначити ймовірність зіткнення в цьому випадку дозволить моделювання взаємного руху суден під час маневру. Однак це значно ускладнює алгоритм і веде до збільшення множини можливих рішень.

На рис. 6 відображено спосіб введення додаткових обмежень, який базується на тому, що область циркуляції судна не повинна перетинатися з траєкторією руху цілі. Водночас для судна, що знаходиться зліва (у IV чверті), алгоритм збільшує MDTCP за наявності більше ніж однієї точки перетину з траєкторією циркуляції. Для судна, що знаходиться справа (у II чверті), алгоритм збільшує MDTCP за наявності хоча б однієї точки перетину з траєкторією циркуляції.

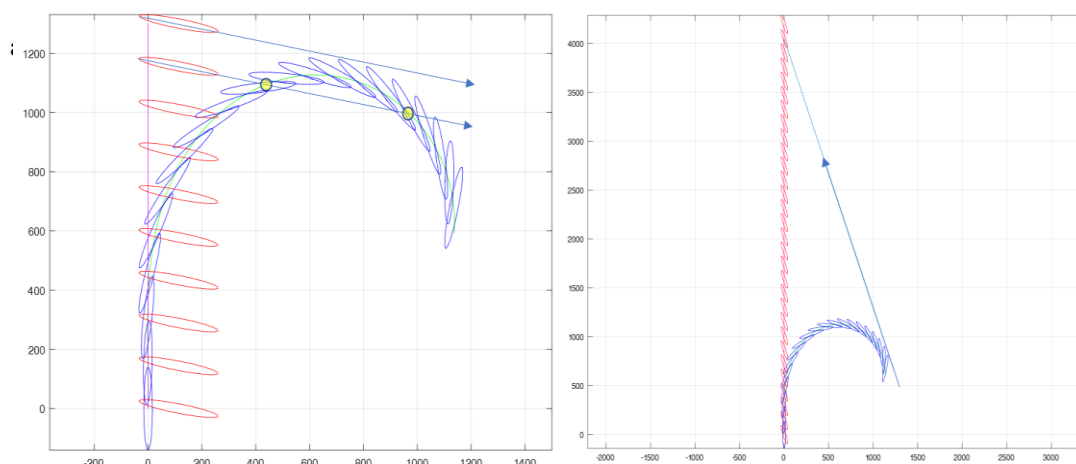


Рис. 6. Додаткові обмеження при розрахунку циркуляції зі стерном «право на борт»

а) судно-ціль попереду зліва; б) судно-ціль на кутах перетину курсу $\alpha \in (0;90)$

При введенні вищеописаних обмежень у II-й чверті MDTCP набуває значення в 3-4 рази більше, ніж у всіх інших при виконанні аварійного маневру

«право на борт», тому в даному випадку доцільно розрахувати маневр у бік від судна-цілі.

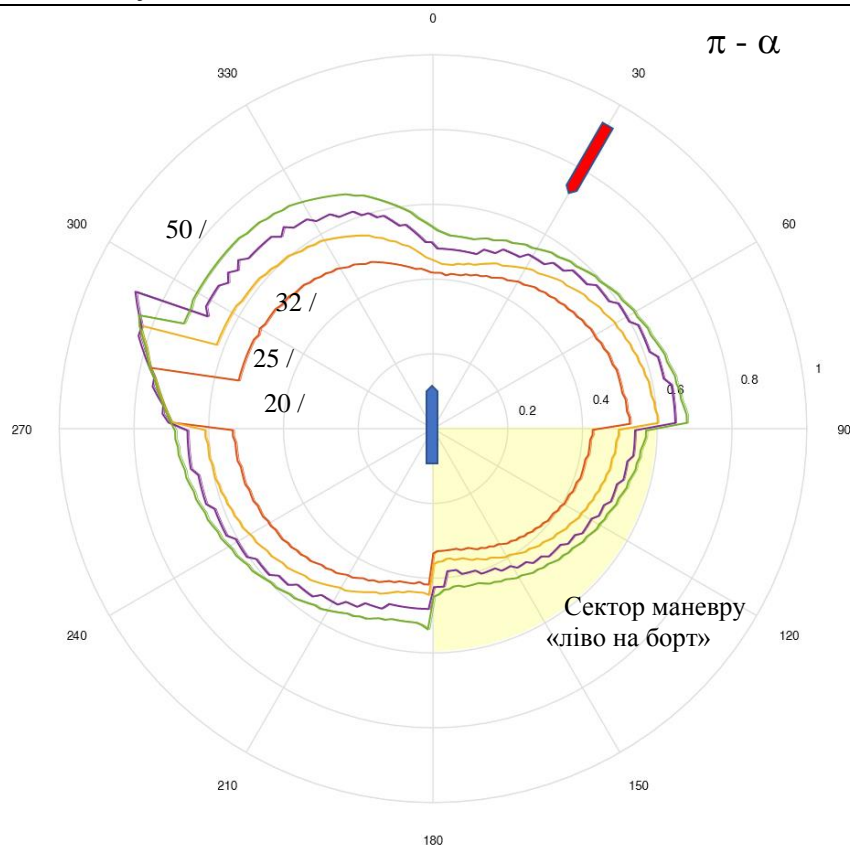


Рис. 7. Мінімальна дистанція (у м. милях) до прогнозованої зони найкоротшого зближення з суднами-цілями різних розмірів (B / L, м)

На рис. 7 відображені результати розрахунку мінімальної дистанції до прогнозованої зони найкоротшого зближення для суден-цілей різних розмірів. Невиконання аварійного маневру в межах цієї дистанції призведе до зіткнення суден. Водночас крива, що описує MDTCP, має більше стиснення відносно центру на зустрічних та попутних курсових кутах.

Висновки

У результаті дослідження були проаналізовані особливості маневрування судна у ситуації небезпечного зближення у перспективі «Міжнародних правил запобігання зіткненню суден» (МППЗС) і маневрених характеристик сучасних суден. Запропоновано розділити зону навколо судна на чотири чверті з різними критеріями оцінки мінімальної дистанції до точки зіткнення і різними маневрами останнього моменту в залежності від кута перетину курсів, сектора дії правил МППЗС і характеристик обраного маневру.

Допрацьовано алгоритм визначення мінімальної дистанції до прогнозованої точки зіткнення суден, на якій можна виконати маневр циркуляції з перекладкою стерна на борт. Ця дистанція залежить від виду виконуваного судном маневру, кута перетину курсів і розмірів суден.

Отриманий алгоритм дозволяє аналітично визначити межі зони небезпечного зближення і, зважаючи на це, дати оцінку безпеки ситуації. Це є

особливо важливим при здійсненні судном дій згідно з Правилем 17 МППЗС у випадку, коли судно-ціль не здійснює маневр, щоб уникнути зіткнення.

Список літератури

1. Bridge watchkeeping and collision avoidance. Loss prevention bulletin. Japan P&I club. Vol. 34, 2015 – 10 p.
2. COLREGS - International Regulations for Preventing Collisions at Sea. Consolidated Edition, IMO: 2003.
3. EMSA Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2019. <http://emsa.europa.eu/emsa-documents/latest/item/3734-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2019.html> Accessed 20 May 2020
4. Gilbert WU Lee. Managing collision avoidance at sea. A practical guide / G.WU Lee, C. J. Parker. – London, England: Nautical Institute, 2007 – 181 p.
5. IMO MSC 192/79, “Resolution MSC.192 (79), Revised recommendation on performance standards for radar equipment”, 2004
6. IMO MSC 76/23, “Resolution MSC.137 (76), Standards for Ship Manoeuvrability,” Report of the Maritime Safety Committee on Its Seventy-Sixth Session-Annex 6, 2002
7. Montewka J. A method for assessing a causation factor for a geometrical MDTC model for ship-ship collision probability estimation / J. Montewka, F. Goerlandt, H. Lammi & P. Kujala // Proceedings of TransNav, vol. 5, №3, 2011

8. Pipchenko O. Robust Automatic Ship Heading Controller For Various Conditions // O. Pipchenko, V. Shevchenko / Marine Intellectual Technologies - Scientific journal № 4 (42) V.4 2018 pp. 208-214
9. Pipchenko O.D., Tsymbal M., Shevchenko V.: Features of an Ultra-large Container Ship Mathematical Model Adjustment Based on the Results of Sea Trials. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 14, No. 1, doi:10.12716/1001.14.01.20, pp. 163-170, 2020
10. Swift A. J., Bailey T. J. Bridge Team Management. 2nd ed. Nautical Institute, London, UK, 2004 – 85 p.
11. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Вагущенко Л. Л., Вагущенко А. Л. Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.
12. Ермаков С. В. Математическая модель маневра последнего момента с пассивным фактором / Вестник ГУ МРФ №2(30), 2015 – С. 41-48.
13. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении: Учебное пособие. – Одесса: ОМТЦ, 2005 – 208 с.
14. Пипченко А. Д. Анализ аварийности мирового флота 2005-2015 // Судовождение: Сб. научн. трудов ОНМА, Вып. 27. – Одесса: ИздатИнформ, 2017. – С. 159-168.
15. Пипченко А. Д. Определение дистанции опасного сближения при расхождении маневром собственного судна // Вестник Одесского национального морского университета 2 (51), Одесса: ОНМУ Вып. 2(51), 2017. – С. 156-164.
16. Пипченко А. Д. Создание упрощенной математической модели движения судна, управляемого рулем и винтом. Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 9. – Одесса: Феникс, 2005 – с. 75-81.
17. Піпченко О. Д. Моделювання інцидентів при підготовці і перевірці компетентності моряків: ситуація зіткнення буксира «НЕФТЕГАЗ-67» і судна «УАО НАІ» / Перникоза В.В., Казак Ю.В., Бурчак А.І. // Матеріали науково-технічної конференції «Транспортні технології (морський та річковий флот): інфраструктура, судноплавство, перевезення, автоматизація». 14-15.11.2019 – С. 72 – 75

MEASURING SYSTEMS

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА НА ФОНЕ ЭКСЦЕССНЫХ НЕГАУССОВСКИХ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ПОМЕХ

Ведерников Д.А.

*аспирант кафедры радиотехники, телекоммуникационных и робототехнических систем,
Черкасский государственный технологический университет,
г. Черкассы, Украина*

MODELS AND METHODS FOR SIGNAL PARAMETERS ESTIMATION IN EXCESS NON-GAUSSIAN CORRELATED NOISE

Viediernikov D.

*Postgraduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunication and Robotics Systems,
Cherkasy State Technological University,
Cherkasy, Ukraine*

Аннотация

В работе рассматривается построение моделей и методов статистического оценивания параметра постоянного сигнала, принимаемого на фоне эксцессных негауссовских коррелированных помех при использовании адаптированного метода максимизации полинома для синтеза алгоритмов функционирования систем обработки сигналов. Показано, что учет параметров негауссовского распределения в виде кумулянтных функций высших порядков и нелинейная обработка случайных процессов позволяет повысить эффективность обработки сигналов в виде уменьшения дисперсии оценки полиномиальных алгоритмов по сравнению с известными результатами.

Abstract

The paper considers the synthesis of models and methods for constant signal parameter estimation in excess non-Gaussian correlated noise using the method of polynomial maximization and its adaptation to implement non-linear algorithms of functioning signal processing systems. It is shown that polynomial processing of random variables, taking into account the parameters of a non-Gaussian distribution in the form of cumulants of one-dimensional and multidimensional distributions, makes it possible to reduce the variance of the parameter estimation in comparison with the well known results.

Ключевые слова: моменты и кумулянты; адаптированный метод максимизации полинома; коррелированные негауссовские процессы.

Keywords: moments and cumulants, the adapted method of polynomial maximization, correlated non-Gaussian processes.

Введение. Результаты оценивания параметров сигналов широко используются во многих приложениях, имеющих отношение к техническим задачам диагностики, управления, мониторинга и контроля, где используются статистические подходы к обработке данных. Для их решения используются известные статистические методы (метод максимального правдоподобия, метод моментов, метод наименьших квадратов и др. [1-3]), при использовании которых в общем случае не накладывается ограничений на вид распределений случайных процессов. При этом, при решении практических задач широкое распространение получили гауссовские модели, которые не всегда адекватно отображают реальные исследуемые процессы [4-6]. Такое предположение (упрощение используемой модели) приводит к снижению точности оценивания параметров исследуемых случайных процессов.

При использовании известных подходов к решению задачи оценивания параметров сигналов, принимаемых на фоне негауссовских помех, возникают трудности, которые часто связаны с априорной неопределенностью параметров исследуемых негауссовских распределений, алгоритмической и

практической сложностью реализации статистических методов. Указанные проблемы существенно затрудняют создание качественных и точных систем для оценивания параметров сигналов. Кроме этого, задача статистического оценивания параметров существенно усложняется при рассмотрении корреляционных связей негауссовских процессов, что приводит к серьезным трудностям алгоритмической реализации.

Проведенные исследования за последние годы показывают, что альтернативным и перспективным решением указанных проблем является использование моментов и кумулянт высших порядков для описания случайных процессов [6-9], что позволяет описать статистические свойства негауссовских коррелированных случайных процессов. Такой подход хорошо себя зарекомендовал при построения новых методов и алгоритмов оценивания параметров сигналов, принимаемых на фоне негауссовских помех [8-12].

Решение задачи оценивания параметров сигналов при взаимодействии с негауссовскими коррелированными помехами требует теоретических и

практических исследований, связанных с изучением многомерных моментно-кумулянтных функций высших порядков и их использования для построения и анализа эффективных методов статистического оценивания параметров сигналов.

Целью работы является построение моделей и методов статистического оценивания параметра постоянных сигналов, принимаемых на фоне эксцессных негауссовских коррелированных помех при использовании моментов и кумулянтов высших порядков для синтеза алгоритмов и компьютерных средств построения систем обработки сигналов.

Использование моментно-кумулянтных функций для построения моделей негауссовских эксцессных коррелированных случайных процессов

Для решения поставленной задачи предложены новые модели негауссовских коррелированных случайных процессов на основе использования одномерных и многомерных моментно-кумулянтных функций высших порядков, что позволило не только описать негауссовское распределение ис-

следуемых процессов, но их корреляционные свойства. Такой подход позволил использовать такие параметры моментно-кумулянтного описания, как коэффициенты асимметрии (γ_3), эксцесса (γ_4) и др., которые не равны нулю в предположении негауссовских моделей исследуемых случайных процессов. Для рассмотрения корреляционных связей негауссовских процессов используем двумерные моменты m_{ij} и кумулянты χ_{ij} , которые представлены в виде [6]:

$$m_{11} = \chi_{11}, m_{12} = \chi_{12}, m_{13} = \chi_{13} + 3\chi_2\chi_{11},$$

$$m_{22} = \chi_{22} + \chi_2^2 + 2\chi_{11}^2,$$

$$m_{23} = \chi_{23} + \chi_2\chi_3 + 6\chi_{11}\chi_{12} + 3\chi_2\chi_{12}, \dots,$$

которые при отсутствии корреляционной зависимости преобразуются в одномерное представление.

Анализ статистических двумерных связей можно представить в виде таблицы 1, которая наглядно описывает характеристики случайной величины.

Таблица 1

Двумерные совместные кумулянты и их порядок

Порядок совместных кумулянтов	Обозначение двумерных совместных кумулянтов					
1	χ_{10}	χ_{01}				
2	χ_{20}	χ_{11}	χ_{02}			
3	χ_{30}	χ_{12}	χ_{21}	χ_{03}		
4	χ_{40}	χ_{31}	χ_{22}	χ_{13}	χ_{04}	
...

Достаточным условием корреляционной независимости случайных процессов является равенство нулю всех совместных кумулянтов χ_{ij} .

На основе представленных совместных кумулянтов выделим определенные классы случайных величин. Совместные кумулянты для двухмерного

гауссовского распределения представлены в таблице 2. Отличными от нуля являются кумулянты первого и второго порядков. В этом случае случайная величина характеризуется только статистической связью первого порядка или корреляцией. При использовании совместных кумулянтов высших порядков появляется возможность описания зависимых негауссовых случайных величин.

Таблица 2

Представление двумерных совместных кумулянтов для гауссовского распределения

Порядок совместных кумулянтов	Обозначение двумерных совместных кумулянтов					
1	χ_{10}	χ_{01}				
2	χ_{20}	χ_{11}	χ_{02}			
3						
4						
...

Определение 1. Гауссовскими статистически зависимыми случайными величинами будем называть такие, для которых отличными от нуля будут одномерный χ_2 и совместный χ_{11} кумулянты второго порядка, а все остальные кумулянты третьего и выше порядков, а также совместные кумулянты выше второго порядка равны нулю. В этом случае

начальные моменты до шестого порядка имеют вид:

$$\alpha_1 = \chi_1, \alpha_2 = \chi_2, \alpha_3 = 0, \alpha_4 = 3\chi_2^2,$$

$$\alpha_5 = 0, \alpha_6 = 15\chi_2^3, \dots,$$

а совместные моменты имеют следующую взаимосвязь с совместными кумулянтами:

$$m_{11}^{(v,k)} = \chi_{11} = \chi_2 \cdot r^{(v,k)}, m_{12} = \chi_{12} = 0,$$

$$m_{22}^{(v,k)} = \chi_2^2 + 2\chi_{11}^2 = \chi_2^2(1 + 2r^{(v,k)^2}), \dots,$$

где $r^{(v,k)}$ - корреляционная функция заданного вида между v -м и k -м выборочным значением. Например, корреляционная функция может иметь:

$$r_{\xi}(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}, r_{\xi}(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|} \cos \beta \tau,$$

$$r_{\xi}(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|} (\cos \beta \tau + \frac{A}{\beta} \sin \beta |\tau|),$$

где $\tau = |t_v - t_k|$ - корреляционный интервал, который при учете статистических связей меньше

интервала корреляции $\tau = |t_v - t_k| \leq \tau_{кор}$, $v, k = \overline{1, n}$; $\tau_{кор}$ - время корреляции; $\sigma^2 = r_{\xi}(0)$ - дисперсия случайного процесса; $1/A > 0$ - постоянная времени, характеризующая статистическую связь выборочных значений.

В данной работе проводится исследование по построению нелинейных методов оценивания параметра постоянного сигнала, принимаемого на фоне эксцессных коррелированных негауссовских помех. Данный класс исследуемого случайного процесса представлен в таблице 3.

Таблица 3

Представление двумерных совместных моментов для эксцессной негауссовской коррелированной случайной величины

Порядок совместных кумулянтов	Обозначение двумерных совместных кумулянтов					
1	χ_{10}	χ_{01}				
2	χ_{20}	χ_{11}	χ_{02}			
3		χ_{12}	χ_{21}			
4	χ_{40}	χ_{31}	χ_{22}	χ_{13}	χ_{04}	
...

Определение 2. Эксцессными статистически зависимыми случайными величинами 1-го типа 1-го вида будем называть такие, для которых отличными от нуля будут χ_2 и χ_4 , а также совместные кумулянты χ_{11} , χ_{13} и χ_{22} , а все остальные кумулянты третьего и выше четвертого порядков, а также совместные кумулянты выше четвертого порядка равны нулю. В этом случае начальные моменты до шестого порядка имеют вид:

$$\alpha_1 = \chi_1, \alpha_2 = \chi_2, \alpha_3 = 0,$$

$$\alpha_4 = \chi_4 + 3\chi_2^2, \alpha_5 = 0, \alpha_6 = 15\chi_2\chi_4 + 15\chi_2^3, \dots,$$

а совместные моменты имеют следующую взаимосвязь с совместными кумулянтами:

$$m_{11}^{(v,k)} = \chi_{11} = \chi_2 \cdot r^{(v,k)}, m_{12}^{(v,k)} = \chi_{12} = 0,$$

$$m_{13}^{(v,k)} = \chi_4 \chi_{11}^2 + 3\chi_2 \chi_{11}$$

$$m_{22}^{(v,k)} = \chi_2^2 (\chi_4 r^{(v,k)^2} + 1 + 2r^{(v,k)^2}), \dots$$

На основе представленных моментно-кумулянтных моделей эксцессных коррелированных негауссовских процессов синтезированы новые методы статистического оценивания параметра постоянного сигнала при использовании адаптированного метода максимизации полинома (АММП).

Полиномиальные методы оценивания параметра сигналов, принимаемых на фоне эксцессных коррелированных негауссовских помех

Рассмотрим наиболее распространенную аддитивную модель $\xi(t)$ взаимодействия исследуемого

полезного постоянного сигнала $S(\mathcal{G})$, зависящего от параметра \mathcal{G} , и стационарной эксцессной негауссовской коррелированной помехи $\eta(t)$:

$$\xi(t) = S(\mathcal{G}) + \eta(t).$$

Для построения полиномиальных методов оценивания представим моментно-кумулянтную модель исследуемого процесса в виде одномоментных и двумоментных кумулянтных функций:

$$\chi_2, \chi_4, \chi_2(0, \tau), \chi_4(0, 0, 0, \tau).$$

Пусть из принятого сигнала $\xi(t)$ исследуется статистически зависимая и одинаково распределенная выборка $\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ объемом n : $x_v = S_g + \eta_v$, где для краткости используем обозначение $S_g = S(\mathcal{G})$. По результатам статистической обработки данных необходимо получить результат оценивания параметра постоянного сигнала \mathcal{G} при условии, что другие параметры известны (дисперсия помехи и другие кумулянты).

Для решения данной задачи используем адаптированный метод максимизации полинома на случай статистически зависимых выборочных значений [12], согласно которому исследуемые процессы можно представить в виде стохастических полиномов степени s [8, 9] при использовании совместных моментов и кумулянтов. В этом случае оценка параметра \mathcal{G} будет находиться из решения уравнения:

$$\sum_{i=1}^s h_{i(v,k)} [\mathcal{G}] \sum_{v=1}^n (\xi_{(v)}^i - \alpha_i [\mathcal{G}]) \Big|_{\mathcal{G}=\hat{\mathcal{G}}} = 0, v, k = \overline{1, n} \quad (1)$$

где $\xi_{(v)}$ - статистически зависимые и одинаково распределенные случайные величины, взятые в моменты времени v , $\alpha_i[\mathcal{G}]$ - начальные моменты i -го порядка, которые зависят от параметра \mathcal{G} ; $h_{i(v,k)}[\mathcal{G}]$ - коэффициенты, которые зависят от параметра \mathcal{G} и совместных кумулянтов, которые, в свою очередь, зависят от функции корреляции $r_{\xi}(\tau)$, $\tau = |v - k|$. Неизвестные коэффициенты (1) находятся из решения системы уравнений:

$$\sum_{i=1}^s h_{i(v,k)}[\mathcal{G}] K_{i,j}(\tau, \mathcal{G}) = \frac{d}{d\mathcal{G}} \alpha_i(\mathcal{G}), i = \overline{1, s}, v, k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где
 $K_{i,j}(\tau, \mathcal{G}) = E\{\xi_v^i - \alpha_i[\xi_v^i - \alpha_i]\xi_k^j - \alpha_j\} = E[\xi_v^i \xi_k^j] - \alpha_i \alpha_j$.

Отметим, что коррелянты $K_{i,j}(\tau, \mathcal{G})$ зависят как от одномерных начальных моментов α_i порядка i , так и от совместных двумерных моментов $E[\xi_v^i \xi_k^j]$. В этом случае имеется возможность представить статистические связи коррелированных негауссовских процессов.

$$\alpha_1 = 0, \alpha_2 = \chi_2, \alpha_3 = \chi_2^{3/2} \gamma_3, \alpha_4 = \chi_2^2 (\gamma_4 + 3), \alpha_5 = 0, \alpha_6 = 15(\chi_2 \gamma_4 + \chi_2^3),$$

а также совместные двумерные моменты, которые характеризуют статистические корреляционные связи случайного процесса:

$$\alpha_2(0, \tau) = \chi_2(0, \tau), \alpha_3(0, \tau, \tau) = 0, \alpha_4(0, \tau, \tau, \tau) = \chi_4(0, \tau, \tau, \tau) + 3\chi_2 \cdot \chi_2(0, \tau),$$

$$\alpha_4(0, 0, \tau, \tau) = \chi_4(0, 0, \tau, \tau) + \chi_2^2 + 2\chi_2^2 \cdot (0, \tau).$$

Для рассматриваемой аддитивной смеси постоянного сигнала S_g и эксцессной негауссовской помехи моменты одномоментного распределения до 6-го порядка примут вид:

$$m_1 = S_g, m_2 = \chi_2 + S_g^2, m_3 = 3\chi_2 S_g + S_g^3 + \gamma_3 \chi_2^{3/2},$$

$$m_4 = 3\chi_2^2 + 6\chi_2 S_g^2 + S_g^4 + \gamma_4 \chi_2^2 + 4S_g \gamma_3 \chi_2^{3/2},$$

$$m_5 = S_g^5 + 10S_g^3 \chi_2 + 5S_g(3 + \gamma_4) \chi_2^2, m_6 = S_g^6 + 15S_g^4 \chi_2 + 15S_g^2(3 + \gamma_4) \chi_2^2 + 15(1 + \gamma_4^2) \chi_2^3,$$

а моменты двумоментного распределения запишутся как:

$$m_{11} = S_g^2 + \chi_2 r^{(v,k)}, m_{12} = S_g^3 + S_g \chi_2 + 2S_g \chi_2 r^{(v,k)} + \gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)3/2},$$

$$m_{22} = S_g^4 + 2S_g^2 \chi_2 + 4S_g^2 \chi_2 r^{(v,k)} + \chi_2^2 (\gamma_4 r^{(v,k)2} + 1 + 2r^{(v,k)2}) + 4\gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)3/2}.$$

Коррелянты $K_{i,j}(\tau, \mathcal{G})$ двумоментного случайного процесса $\xi(t)$ примут вид:

$$K_{1,1}(0, \tau, \mathcal{G}) = m_{11} - m_1 m_2 = \chi_2 r_{\xi}(\tau),$$

$$K_{1,2}(0, \tau, \tau, \mathcal{G}) = m_{12} - m_1 m_2 = 2S_g \chi_2 r^{(v,k)} + \gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)3/2},$$

$$K_{2,2}(0, 0, \tau, \tau, \mathcal{G}) = m_{22} - m_2 m_2 = 4S_g^2 \chi_2 r^{(v,k)} + 4S_g \gamma_3 \chi_2^{3/2} r^{(v,k)3/2} + \gamma_4 \chi_2^2 r^{(v,k)2} + 2\chi_2^2 r^{(v,k)2} + \chi_2^2$$

где коэффициент асимметрии γ_3 можно взять равным нулю.

При рассмотрении случая, когда корреляционные связи отсутствуют между выборочными значениями, коррелянты примут вид:

$$K_{1,1} = \chi_2, K_{1,2} = 2\chi_2 S_g,$$

$$K_{2,2} = 4S_g^2 \chi_2 + \chi_2^2 (\gamma_4 + 2).$$

Эффективность синтезированных алгоритмов сопоставляется с количеством извлекаемой информации об оценивании параметра \mathcal{G} , которое в общем случае имеет вид [8, 9]:

$$I_{sn}(\mathcal{G}) = \sum_{v=1}^n \sum_{i=1}^s h_{i(v,k)}[\mathcal{G}] \frac{d}{d\mathcal{G}} \alpha_i(\mathcal{G}) = \frac{1}{\sigma_{(\mathcal{G})s}^2}, k = \overline{1, n} \quad (3)$$

и обратно пропорционально дисперсии оценки.

На основе использования представленных моделей негауссовских эксцессных коррелированных случайных процессов, использования нового адаптированного метода максимизации полинома, синтезированы нелинейные алгоритмы оценивания параметра \mathcal{G} постоянного сигнала, принимаемого на фоне коррелированных эксцессных негауссовских помех.

Результаты исследования

Рассмотрим синтез и анализ полиномиальных алгоритмов оценивания параметра \mathcal{G} постоянного сигнала $S(\mathcal{G})$ при различных степенях полинома s . Для статистического описания исследуемого эксцессного негауссовского процесса приведем начальные одномерные моменты до 6-го порядка:

Для оценивания неизвестного параметра \mathcal{G} используем адаптированный метод максимизации полинома (1), где неизвестные коэффициенты $h_{i(v,k)}[\mathcal{G}]$ будут определяться из решения системы уравнений (2). Для решения такой системы уравнений воспользуемся методом Крамера и формулы Шура:

$$h_{i(v,k)}[\mathcal{G}] = \frac{\Delta_{is}(\mathcal{G})}{\Delta_s(\mathcal{G})}, i = \overline{1, s},$$

где $\Delta_s(\mathcal{G}) = \det \|K_{i,j}(\tau, \mathcal{G})\|$ - определитель матрицы размерности s , элементами которой являются центральные коррелянты эксцессного коррелированного случайного процесса; $\Delta_{is}(\mathcal{G})$ - определитель, получаемый из $\Delta_s(\mathcal{G})$ заменой i -го столбца столбцом, состоящим из свободных членов системы уравнений.

Показано, что при степени полинома $s=1$ оценка параметра \mathcal{G} постоянного сигнала находится из уравнения (1) и имеет вид:

$$\sum_{v=1}^n h_{1(v,k)}[\mathcal{G}] \left(\xi_{(v)} - S_{\mathcal{G}} \right) \Big|_{S_{\mathcal{G}} = \hat{S}_{\mathcal{G}}} = 0, \quad k = \overline{1, n} \quad (4)$$

В этом случае коэффициент $h_{1(v,k)}[\mathcal{G}]$ в уравнении (4) примет вид:

$$h_{1(v,k)}[\mathcal{G}] = \frac{A_v(\mathcal{G})}{\det \|K_{1,1}(\tau, \mathcal{G})\|}, \quad v, k = \overline{1, n}, \quad (5)$$

где $A_v(\mathcal{G})$ - определитель, который получен из определителя $\det \|K_{1,1}(\tau, \mathcal{G})\|$ при замене v -го столбца другим столбцом, который состоит из свободных членов (правой части) системы уравнений (2).

Отметим, что коррелянты $K_{1,1}(\tau, \mathcal{G})$ исследуемого процесса характеризуют статистические связи между выборочными значениями в заданные моменты времени (v, k) и могут быть представлены в виде корреляционной матрицы. Для экспоненциальной корреляционной зависимости коррелянты $K_{1,1}(\tau, \mathcal{G})$ запишутся в виде:

$$K_{1,1}(\tau, \mathcal{G}) = \sigma^2 \begin{vmatrix} 1 & e^{-A} & \dots & e^{-A(n-1)} \\ e^{-A} & 1 & \dots & e^{-A(n-2)} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ e^{-A(n-1)} & e^{-A(n-2)} & \dots & 1 \end{vmatrix},$$

где σ^2 - дисперсия исследуемого случайного процесса.

Тогда линейное уравнение максимизации полинома (4) при степени $s=1$ при использовании коэффициента $h_{1(v,k)}[\mathcal{G}]$ (5) запишется:

$$\hat{S}_{\mathcal{G}} = \frac{\sum_{v=1}^n A_v(\mathcal{G}) x_v}{\sum_{v=1}^n A_v(\mathcal{G})}. \quad (6)$$

При отсутствии статистических связей между выборочными значениями оценка параметра $\hat{S}_{\mathcal{G}}$ (6) примет хорошо известный вид [8, 9]:

$$\hat{S}_{\mathcal{G}} = \frac{1}{n} \sum_{v=1}^n x_v.$$

Для оценивания эффективности полученной оценки $\hat{S}_{\mathcal{G}}$ используем параметр в виде количества извлекаемой информации (3), который является обратной величиной дисперсии оценки:

$$I_{1n}(\mathcal{G}) = \sum_{v=1}^n h_{1(v,k)}[\mathcal{G}] = \frac{A_v(\mathcal{G})}{\det \|K_{1,1}(\tau, \mathcal{G})\|}. \quad (7)$$

Видно, что полученный результат оценивания (6) не учитывает параметры негауссовского распределения исследуемого процесса. Это связано с тем, что для описания самого случайного процесса используются только первых два начальных момента, которые характеризуют математическое ожидание и дисперсию. Для описания других параметров негауссовского коррелированного процесса увеличим степень полинома до $s=2$. Для нахождения оценки параметра $\hat{S}_{\mathcal{G}}$ используем уравнение максимизации полинома (1), в котором неизвестные коэффициенты, согласно (2), примут вид:

$$h_{1(v,k)}[\mathcal{G}] = \frac{\Delta_{12}(\mathcal{G})}{\Delta(\mathcal{G})}, \quad h_{2(v,k)}[\mathcal{G}] = \frac{\Delta_{22}(\mathcal{G})}{\Delta(\mathcal{G})},$$

где

$$\Delta(\mathcal{G}) = \det \begin{vmatrix} K_{1,1}(0, \tau, \mathcal{G}) & K_{1,2}(0, \tau, \tau, \mathcal{G}) \\ K_{2,1}(0, \tau, \tau, \mathcal{G}) & K_{2,2}(0, 0, \tau, \tau, \mathcal{G}) \end{vmatrix},$$

а $\Delta_{12}(\mathcal{G})$, $\Delta_{22}(\mathcal{G})$ - получены из $\Delta(\mathcal{G})$ при замене соответствующего столбца правой частью (2), т.е. $\frac{d}{d\mathcal{G}} m_1(\mathcal{G})$, $\frac{d}{d\mathcal{G}} m_2(\mathcal{G})$ соответственно.

Подставляя полученные коэффициенты в уравнение (1) получим нелинейное уравнение максимизации полинома для определения оценки параметра $\hat{S}_{\mathcal{G}}$.

Для количественного анализа эффективности оценивания неизвестного параметра постоянного сигнала при различных степенях полинома используем значение $I_{sn}(\mathcal{G})$ (3), которое является обратной величиной дисперсии оценки $\sigma_{(\mathcal{G})s}^2$. При использовании стохастических полиномов степени $s=1$ и $s=2$ отношение дисперсий оценок примет вид:

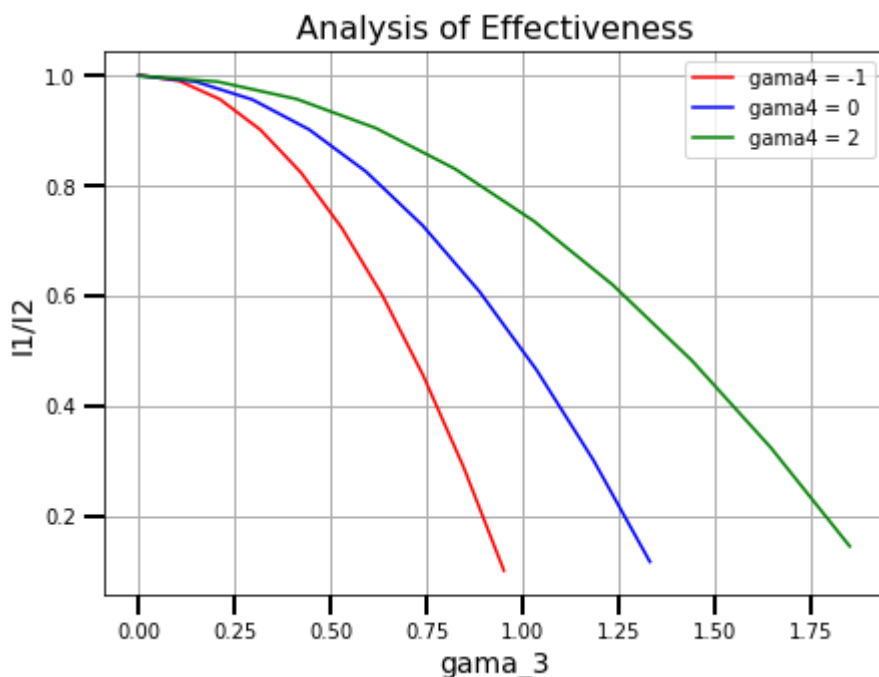
$$g(\mathcal{G}) = \frac{\sigma_{(\mathcal{G})2n}^2}{\sigma_{(\mathcal{G})1n}^2} = \frac{I_{1n}(\mathcal{G})}{I_{2n}(\mathcal{G})},$$

и чем меньше это отношение, тем точнее результат оценивания по сравнению с хорошо известным при степени $s=1$.

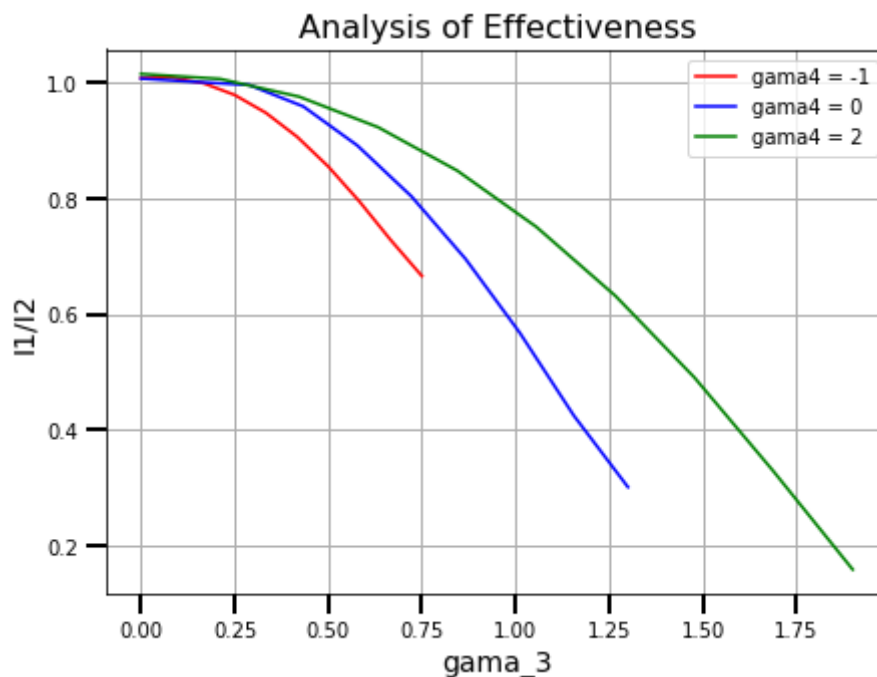
На рис. 1 приведены результаты, которые показывают эффективность нелинейного оценивания параметра постоянного сигнала (при степени полинома $s=2$) по сравнению с линейным оцениванием (при степени полинома $s=1$) при взаимодействии с асимметрично-эксцессными коррелированными негауссовскими помехами.

Отметим, что оценка \hat{S}_g (6) при степени полинома $s = 1$ не учитывает негауссовский характер исследуемого случайного процесса и ее эффективность определяется выражением (7). При использовании степени полинома $s = 2$ имеется возможность учесть параметры негауссовского распределения исследуемого процесса в виде кумулянтных функций высших порядков, а именно коэффициента асимметрии γ_3 и эксцесса γ_4 , а также двумерных совместные моменты, которые описывают статистические зависимости. На рис.1 приведены сравнительные результаты отношения I_1/I_2 от параметров негауссовской помехи и коэффициенте корреляции $A=10, 1$. Из графиков видно, что с ростом значения коэффициента γ_3 количество извле-

каемой информации I_2 по сравнению с I_1 возрастает, что эквивалентно увеличению точности оценивания в виде уменьшения дисперсии оценки. При наличии слабых статистических связей (большое значение коэффициента $A=10$) результат эффективности оценивания будет совпадать с хорошо изученными свойствами, представленными в [8, 9]. При наличии сильных статистических связей между выборочными значениями (малое значение коэффициента $A=1$ для функции $r_\xi(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}$) наблюдается увеличение дисперсии оценки, и следовательно, уменьшение эффективности оценивания. В любом случае, результат нелинейного оценивания неизвестного параметра \hat{S}_g является более эффективным по сравнению с линейным, который совпадает с хорошо известным результатом при рассмотрении широко распространенных гауссовских моделей случайных процессов.



A=10



$A=1$

Рисунок 1. Отношение количества извлекаемой информации об оцениваемом параметре постоянного сигнала (при различных степенях полинома) от коэффициентов асимметрии γ_3 , эксцесса γ_4 и коэффициента корреляции ($A=10, 1$) для экспоненциальной корреляционной функции $r_{\xi}(\tau) = \sigma^2 e^{-A|\tau|}$.

Выводы

Применение альтернативного подхода к описанию исследуемых случайных процессов в виде моментно-кумулянтных функций различного порядка позволило представить новые методы оценивания неизвестного параметра постоянного сигнала, принимаемого на фоне эксцессных коррелированных негауссовских помех при использовании адаптированного метода максимизации полинома. Предложенный подход учитывает негауссовское распределение исследуемого случайного процесса и корреляционные связи выборочных значений, что позволяет повысить точность результатов оценивания по сравнению с хорошо известными в виде уменьшения дисперсии оценки. Эффективность полученных результатов будет зависеть как от используемой априорной информации об исследуемом процессе (кумулянтов высших порядков), так и от параметров, которые характеризуют корреляционные связи выборочных значений.

Список литературы

1. H.L.Van Trees, K.L.Bell, Z.Tiany: 'Detection Estimation and Modulation Theory, 2nd Edition, Part I, Detection, Estimation, and Filtering Theory', (John Wiley & Sons, New York, 2013)
2. V.P.Tuzlukov: 'Signal Processing Noise', (CRC Press LLC, Boca Raton, 2002)
3. Mourad Barkat: 'Signal Detection and Estimation', (Artech House, Boston, 2005)

4. D.Middleton: 'Non-Gaussian Statistical Communication Theory', (John Wiley & Sons, New Jersey, 2012)

5. Huihong Zhao, Chenghui Zhang: 'Non-Gaussian noise quadratic estimation for linear discrete-time time-varying systems', Neurocomputing, 2016, 174(B), pp.921-927

6. Малахов А.Н. Кумулянтный анализ негауссовских процессов и их преобразований. — М.: Сов. радио, 1979. — 376 с.

7. A.K.Nandi: 'Blind Estimation Using Higher-Order Statistics', (Springer-Verlag, New York, 1999)

8. Kunchenko, Y. P. Polynomial Parameter Estimations of Close to Gaussian Random variables [Текст] / Y. P. Kunchenko // Germany, Aachen: Shaker Verlag, 2002. — 396 p.

9. Кунченко Ю.П. Стохастические полиномы. - К.: Наук. Думка, 2006.-275 с.

10. V.Palahin, O.Palahina, V.Filipov, S.Leleko, A.Ivchenko; 'Modeling of Joint Signal Detection and Parameter Estimation on Background of Non-Gaussian Noise', Journal of Applied Mathematics and Computational Mechanics, 2015, 14(3), pp.87-94

11. V.Palahin, J.Juhár. Joint Signal parameters estimation in non-Gaussian noise by the method of polynomial maximization. – Journal of Electrical Engineering, Vol. 67 (2016), no.3, 217-221, 2016.

12. L.Vokorokos, S.Marchevský, A.Ivchenko, E.Palahina, V.Palahin. Parameters Estimation of Correlated non-Gaussian processes by the Method of Polynomial Maximization. – Submitted to IET Signal Processing, 313-319, 2016.

№41, 2020
Slovak international scientific journal

VOL.1

The journal has a certificate of registration at the International Centre in Paris – ISSN 5782-5319.

The frequency of publication – 12 times per year.

Reception of articles in the journal – on the daily basis.

The output of journal is monthly scheduled.

Languages: all articles are published in the language of writing by the author.

The format of the journal is A4, coated paper, matte laminated cover.

Articles published in the journal have the status of international publication.

The Editorial Board of the journal:

Editor in chief – Boleslav Motko, Comenius University in Bratislava, Faculty of Management

The secretary of the journal – Milica Kovacova, The Pan-European University, Faculty of Informatics

- Lucia Janicka – Slovak University of Technology in Bratislava
- Stanislav Čerňák – The Plant Production Research Center Piešťany
- Miroslav Výtisk – Slovak University of Agriculture Nitra
- Dušan Igaz – Slovak University of Agriculture
- Terézia Mészárosová – Matej Bel University
- Peter Masaryk – University of Rzeszów
- Filip Kocisov – Institute of Political Science
- Andrej Bujalski – Technical University of Košice
- Jaroslav Kovac – University of SS. Cyril and Methodius in Trnava
- Paweł Miklo – Technical University Bratislava
- Jozef Molnár – The Slovak University of Technology in Bratislava
- Tomajko Milaslavski – Slovak University of Agriculture
- Natália Jurková – Univerzita Komenského v Bratislave
- Jan Adamczyk – Institute of state and law AS CR
- Boris Belier – Univerzita Komenského v Bratislave
- Stefan Fišan – Comenius University
- Terézia Majercakova – Central European University

1000 copies

Slovak international scientific journal

Partizanska, 1248/2

Bratislava, Slovakia 811 03

email: info@sis-journal.com

site: <http://sis-journal.com>