



Қазақстан Республикасы  
Ұлттық инженерлік академиясының

# ХАБАРШЫСЫ

---

## ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии  
Республики Казахстан

№ 1 (83)

Алматы  
2022

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РК**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**  
**академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Н. К. Надиров** – академик, заместитель главного редактора; **Е. И. Имангалиев** – ответственный секретарь; академик **Ж. М. Адилов**, академик **А. Ч. Джомартов**, академик **Р. А. Алшанов**, академик **М. Ж. Битимбаев**, академик **А. В. Болотов**, академик **А. И. Васильев** (Украина), академик **Б. В. Гусев** (Россия), академик **Г. Ж. Жолтаев**, академик **В. Ч. Вуйцик** (Польша), академик **К. К. Кадыржанов**, академик **К. С. Кулажанов**, академик **А. А. Кулибаев**, академик **М. М. Мырзахметов**, академик **Х. Милошевич** (Сербия), академик **Г. А. Медиева**, академик **А. М. Пашаев** (Азербайджан), академик **Н. М. Темирбеков**, академик **А. К. Тулешов**, академик **Б. Б. Телтаев**, академик **Ю. И. Шокин** (Россия).

**INTERNATIONAL  
SCIENTIFICALLY-TECHNICAL JOURNAL  
HERALD TO NATIONAL ENGINEERING ACADEMY  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**B. T. ZHUMAGULOV**  
**Editor-in-Chief, academician**

**THE EDITORIAL BOARD:**

**N. K. Nadirov** – academician, Deputy Editor; **Y. I. Imangaliyev** – Managing Editor; **Zh. M. Adilov**, academician; **A. Ch. Dzhomartov**, academician; **R. A. Alshanov**, academician; **M. Zh. Bitimbayev**, academician; **A. V. Bolotov**, academician; **A. I. Vasilyev**, academician (Ukraine); **B. V. Gusev**, academician (Russia); **G. Zh. Zholtayev**, academician; **Wójcik Waldemar** academician (Poland); **K. K. Kadyrzhanov**, academician; **K. S. Kulazhanov**, academician; **A. A. Kulibayev**, academician; **M. M. Myrzakhmetov**, academician; **H. Miloshevich**, academician (Serbiya); **G. A. Mediyeva**, academician; **A. M. Pashayev**, academician (Azerbaijan); **N. M. Temirbekov**, academician; **A. K. Tuleshov**, academician; **B. B. Teltayev**, academician; **Yu. I. Shokin**, academician (Russia).

## **УЧРЕДИТЕЛЬ:**

Республиканское общественное объединение  
«Национальная инженерная академия Республики Казахстан».

Издается с 1997 года.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 287 от 14.11.1996 г.,  
выдано Национальным агентством по делам печати и массовой информации  
Республики Казахстан.

Свидетельство о перерегистрации № 4636-Ж от 22.01.2004 г.,  
выдано Министерством информации Республики Казахстан.

Журнал включен Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан  
в перечень изданий для публикации основных результатов научно-технических работ соис-  
кателей ученых степеней доктора философии PhD и доктора по профилю и ученых званий  
доцента и профессора.

Журнал включен в международную англоязычную базу реферативных данных по техниче-  
ским наукам INSPEC.

Подписку на журнал можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта»,  
ТОО Агентстве «Евразия пресс» и ТОО Агентстве «Еврика пресс».

### ***Подписной индекс:***

для физических лиц – **75188**,  
для юридических лиц – **25188**.

Подписка продолжается в течение года.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80, к. 415.

Тел. 8-7272-915290, факс: 8-7272-915190,

e-mail: [nia\\_rk@mail.ru](mailto:nia_rk@mail.ru), [ntpneark@mail.ru](mailto:ntpneark@mail.ru), [www.neark.kz](http://www.neark.kz)

## **FOUNDER:**

Republic public association  
“National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan”.

Published since 1997 year.

Issued 4 times a year.

Certificate about registration the edition N 287, November, 14, 1996,  
was given by National agency on affaires of press and mass information  
of the Republic of Kazakhstan.

Certificate about re-registration N 4636-Zh, January, 22, 2004,  
was given by Ministry of information of the Republic of Kazakhstan.

The Committee of Science of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan has included the Journal into the list of issues for publication of the main results of scientific-technical investigations of applicants for scientific degrees ( Doctor philosophy PhD, Doctor on specialization) and academic ranks (Professor and Associate professor).

The Journal was included into international English-language abstracts database on technical sciences “INSPEC”.

Subscription to journal may be drawn up at post offices of OJSC “Kazpochta”,  
in PLL Agency “Evraziya press” and PLL Agency “Evriska press” .

### ***Subscription index:***

for natural persons – **75188**,

for juristic persons – **25188**.

Subscription continues during a year.

Address of editorial offices: 050010, Almaty city, Bogenbay Batyr str., 80, off. 415.

Tel. 8-7272-915290, fax: 8-7272-915190,

e-mail: [nia\\_rk@mail.ru](mailto:nia_rk@mail.ru), [ntpneark@mail.ru](mailto:ntpneark@mail.ru), [www.neark.kz](http://www.neark.kz)



**Бақытжан ЖҰМАҒҰЛОВ,**  
Парламент Сенатының депутаты

## **БАҒЫТЫ АЙҚЫН ЖАҢҒЫРУ ЖОЛЫ**

*Қаралы қаңтардың ызғары әлі басылған жоқ. Бірақ адам үмітпен мір сүреді. лемнің саяси ахуалы да орнықпай тұр. Ресей – Украина қақтығысына орай крші мемлекетке жасалып жатқан саяси-экономикалық санкциялар Қазақстанға да әсер етпей қоймайды.*

Қазақстан Президенті Қ.Тоқаев демократ, әлемдік саяси трендтердің білгірі ретінде қалыптасқан қиындықтарға қарамастан билікке келген күннен бастап саяси-экономикалық, мәдени-рухани салада реформалар жүргізе бастады. Ішкі және сыртқы қиындықтарға қараған жоқ. Мемлекетіміздің бүкіл болмысын өзгерту-жаңғырту жаһап, Жаңа Қазақстан концепциясын ұсынды.

Мемлекет басшысы Қазақстан халқына Жолдауында әлемдік қиыншылықтар кезінде еліміздің қандай бағытта дамитынын ашық айтты. Өйткені шындық пен ашық ақпарат қана қоғамды да, адамды да түзейді. Жол көрсетеді.

Билікке келген күннен бастап Мемлекет басшысы саяси реформалар жолын таңдады. Аз ғана уақыт ішінде кезең-кезеңмен реформаның төрт пакеті жүзеге асырылды. Осыған орай оннан астам заң қабылданды. Жаңа Қазақстанның жаңа жаңғыру жолы айқындалды.

Қазақстан Республикасы Парламентінің біріккен отырысында еліміздің саяси өміріне жол салатын жаңа бағыттар ұсынылды. Ол елімізді тығырықтан шығаратын жаңа бағыт бола ала ма? Міне, осындай сұрақтарға Қазақстан халқы жауап алды.

Бұл Жолдау – Қазақстан халқының бүкіл ой-тілегін ашқан, мазмұны жағынан ауқымды, міндеттері жағынан айқын, мақсаты жағынан жарқын, болашағы жағынан берік, Жаңа Қазақстанның жарқын жолын ашқан ұлттық жоба болды ғой деп ойлаймын.

Президенттің Жолдауы өзінің пайымдылығымен, парасаттылығымен, сабырлылығымен ерекшеленді. Елдің бәрін мазалаған сұрақтарға жауап берді. Президент қаңтардағы қанды қақтығыстың себептері мен салдарын ашып көрсетті. Ең бастысы, жазықтылар қоғамдағы орны мен жағдайына қарамастан заң алдында қылмысқа таратылатын болды.

Дүрбелең кезіндегі оқиғаларға әділ баға берілетінін, әр адамның ісі жеке-жеке қаралып, содырлар қатарына кездейсоқ қосылған адамдар жағдайы тергеу барысында ескерілетін болады. Ал билікті басып алуға мүдделі топтар жоғары құқық билігіндегілермен ымыраласқандары ашық айтылды.

Президенттің «Біз жардың шетінде тұрдық» деген сөз жүрекке жетті.

Шынында да, осындай тәуелсіздікті қорғап қалғаннан кейін, қоғам, мемлекет, билік қалай өмір сүреді? Яғни мемлекеттік деңгейде басталған реформалар одан әрі қарай дамуы керек? Көпірме сөз емес, оң өзгерістер керек.

Жолдауда айтылғандай, өзгеріс әркімнің өзінен басталуы керек. Президент осы қағидатты өзінен бастады. Супер-президенттік республика емес, күшті Парламенті бар президенттік республика қажет. Билікті монополизациялауға жол беруге болмайды. Сондықтан да «Қасіретті қаңтардың» маңызды сабақтары билік институттарын түбегейлі жаңғыртуды қажет етеді. Осыған орай шексіз президенттік билікті шектеуді ұсынды.

Болашақта Президенттің ет жақын туыс тары жоғары саяси мемлекеттік қызмет атқара алмайтын болады.

Мемлекет басшысы өзінің Amanat партиясының Төрағасы қызметінен кететінін мәлімдеді. Әрине, өзінің лауа зымдық қызметін атқаратын мерзім ішінде. Енді әкімдер әр аймақтың партия филиалдарын басқармайды. Әрі Президент Орталық сайлау комиссиясы мен оның мүшелерінің, Есеп комитеті мен Конституциялық Кеңес мүшелерінің партияға мүше болмайтынын атап өтті. Бұл – демократиялық таңдау жолы.

Өте маңызды мәселе Сенатты құру мен оның функциясын жетілдіру мәселесі болды. Енді Сенаттағы президенттік квота 15-тен 10-ға дейін азаятын болды.

Мәжілістің рөлі мен мәніне ерекше маңыз берілді. Онда барлық аймақ өкілдері болуға тиісті. Қазақстан халқы Ассамблеясының 9 квотасының 5 депутаттық орны Сенатқа берілетін болды. Мәжілістің депутаттық корпусының 70 пайызы пропорционалды, ал 30 пайызы мажоритарлық жүйеде сайланбақ. Бұл халық айтып жүрген ұсыныстар екенін айта кеткім келеді. Партияларды тіркеу де едәуір жеңілдейді. Енді партияны тіркеу үшін 5 мың адам жеткілікті.

Конституциялық сот жүйесі қайта қалпына келтірілмек. Бұл ерекше маңызға ие деп есептеймін. Енді кез келген адам өзінің конституциялық құқығы бұзылды деген жағдайда осы сотқа жүгіне алады. Ерекше ұсыныс Ұлттық құрылтай құру қажеттігі болды. Ол атам заманнан бері қалыптасқан дала демократиясын жаңғырту мақсатында жүзеге асырылмақ.

Әрине, мені ерекше толғантқан мәселе әкімшілік-аумақтық өзгерістер идеясы болды. Кезінде геосаяси жағдайға байланысты осындай оңтайлы қадамдар жасалған еді. Ал енді қазіргі геосаяси ахуалға сәйкес жаңа аймақтарды құрылуы экономиканы қайта құруға мүмкіндік береді деп үміттенемін.

Семей қаласы орталығы болып, Абай облысы құрылмақ. Алматы облысы екіге бөлініп, бірі Алматы облысы – орталығы Қапшағай болып, екіншісі Жетісу облысы – орталығы Талдықорған қаласы болып қайта жаңғырмақ.

Қапшағай қаласын Қонаев қаласы деп өзгерту туралы ұсыныс ерекше әсер қалдырды. Өйткені сайлаушылар осы мәселені көптен қозғайтын. Құзыретті органдарға үзбей хат жазып жүрді. Бұған депутаттық үнімді қосқанымды айта кеткім келеді.

Жезқазған өлкесін қайта қалпына келтіріп, оны Ұлытау облысы деп атау туралы ұсыныс та индустриялық әрі тарихи өңірді қайта жаңғыртады ғой деп ойлаймын.

Жолдау жасалды. Алда атқарылар қыруар міндет тұр. Ата Заңға 30-ға жуық өзгеріс енгізіліп, 20 заң жыл аяғына дейін қабылдануы керек.

Әрине, Жолдаудағы БАҚ, жергілікті өзін-өзі басқару, мәслихаттардың рөлін көтеру, тағы да басқа заманауи мәселелер туралы жан-жақты айтылды. Олардың бәрін шағын мақалада талдау мүмкін емес.

Жаңа Қазақстанның жаңа жаңғыру жолы басталды. Мемлекетті қорғау, тәуелсіздікті қорғау жалғыз Президенттің міндеті емес.

Отанымыз бір, жүрегіміз де, тілегіміз де біреу. Ол – егемен ел Қазақстанға қызмет ету. Бір болайық, бірге болайық, ағайын!

«EGEMEN QAZAQSTAN» газеті №52 (30281),  
8 - бет 17 наурыз 2022 жыл

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЧЕСТНЫХ И СПРАВЕДЛИВЫХ «ПРАВИЛ ИГРЫ»**

В Послании Главы государства Касым-Жомарта Токаева народу «Новый Казахстан: путь обновления и модернизации» изложена президентская программа политических реформ, означающая новый этап государственного строительства.

Думаю, со мною солидарно абсолютное большинство казахстанского общества: перемен, инициированных руководителем страны и заявленных на совместном заседании палат Парламента, общество ждало давно. И некоторые из них уже озвучивались в плане намерений.

Что делает честь лидеру? Обладая твердой политической волей, он вынашиваемые замыслы, подчас кажущиеся дерзновенными и даже нереальными, последовательно претворяет в жизнь. Ставя во главу угла исключительно интересы государства. При этом нередко руша устоявшиеся каноны и представления. Потому что, как сам подчеркивает К. Токаев в Послании, политическая трансформация нацелена на формирование честных и справедливых «правил игры».

Сделаю на этой позиции акцент: единых для всех без исключения. В том числе и для первого лица в государстве. В связи с этим объявляется новый курс государственности: «от суперпрезидентской формы правления к президентской республике с сильным Парламентом». Принципиальный момент: для ближайших родственников Президента будет введен законодательный запрет на занятие должностей политических государственных служащих и руководителей в квазигосударственном секторе. Кроме того, предлагается вменить в обязанность Президенту прекращать членство в партии на период его полномочий.

Остановлюсь также на затронутых в Послании и давно волнующих меня вопросах.

К сожалению, в главной партии страны, недавно переименованной в «AMANAT», за прошлые годы сложилась порочная практика избрания руководителями областных филиалов акимов соответствующих регионов. Далее она распространялась на города, районы и даже предприятия. В результате плодились «двойные руководители», которые организационно-партийной работой особо не занимались. И вполне справедливо, что Глава государства наложил вето на формально-административный подход, запретив акимам и их заместителям занимать должности в областных и местных парторганизациях.

Общественно-политических организаций коснутся и такие благие перемены, как снижение регистрационного порога для выборов в Мажилис (с 20 до 5 тыс. человек), минимальной численности региональных представительств и инициативных групп граждан для создания партий. Так что не декларируемая, а настоящая многопартийность не за горами.

Модернизация намечена и в Парламенте. Мажилис предложено формировать по пропорционально-мажоритарной системе (70% состава – по партийным спискам, 30% – по одномандатным округам). Этот шаг приведет к истинной конкурентной борьбе за мандаты и политическое влияние в высшем представительном органе страны. А вот



еще один пример урезания Главой государства своих властных возможностей: «Президентскую квоту в Сенате следует рассматривать не как средство контроля, а в качестве механизма учета голосов и мнений социальных групп, слабо представленных в Парламенте. Поэтому мною принято решение о сокращении президентской квоты в Сенате с 15 до 10 депутатов».

В то же время Сенат получит недостающую «пятерку» из Мажилиса. Чему К. Токаев дает убедительное обоснование: «Нижняя палата Парламента должна отражать весь ландшафт страны без предоставления кому-либо искусственных преференций. Таким образом мы упраздним квоту АНК в Мажилисе, что, на мой взгляд, правильно и с политической, и с юридической точек зрения. Эта квота переносится в Сенат и сокращается с 9 до 5 депутатов. Соответственно, общее количество депутатских мест в Мажилисе уменьшится. «Лучше меньше, да лучше».

Заострю ваше внимание и на таком существенном аспекте: парламентские преобразования предложены не только высшим руководителем страны, но и выдающимся экспертом в этой области с богатейшим опытом работы в ранге председателя верхней палаты – Сената Парламента РК.

Порадовали и предложения о создании Улытауской и Абайской областей, а также о переименовании Капшагай в Конаев и придании этому городу статуса областного центра. Это будет достойной данью памяти выдающихся сынов казахского народа, деянием культурного и исторического значения.

В эти непростые времена мы должны уверенно смотреть в будущее, дружно идти к высоким целям, крепя единство и казахстанскую идентичность, опираясь на духовность и непреходящие нравственные ценности.

*«Казахстанская правда» от 17 марта 2022 года  
№ 52 (29679) 6 стр.*

---

---

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.056.5

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.135>

**А. С. АМИРОВА\*, А. Т. ТОХМЕТОВ**

*Евразийский национальный университет, Нур-Султан, Казахстан  
whitesilk@mail.ru, attohmetov@mail.ru*

### **АНАЛИЗ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СЕТЯХ ПРОМЫШЛЕННОГО ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

*С быстрым развитием промышленного Интернета вещей (IIoT) возникла необходимость быстро реагировать, обнаруживать и предотвращать вторжения. Эти проблемы особенно актуальны в связи с прогнозируемым ростом пользователей IIoT. Оценка рисков - важная часть процесса создания систем защиты информации, в том числе промышленных комплексов. Целью данной работы является разработка практической модели оценки рисков информационной безопасности в сетях промышленного интернета вещей. Предлагаемая модель основана на простом методе аддитивного взвешивания и нечеткой логике. Нечеткая логика является подходящей для оценки рисков и представляет практические результаты. Произведена реализация процесса нечеткого моделирования базы правил посредством применения специализированного пакета Fuzzy Logic Toolbox программного средства MATLAB.*

***Ключевые слова:** промышленный Интернет вещей (IIoT), простой метод аддитивного взвешивания (SAW), безопасность, угрозы.*

**Введение.** Термин «Интернет вещей» впервые был использован Массачусетским технологическим институтом Массачусетского технологического института в 1999 году. Тогда он означал сетевую систему самоорганизующихся процессов и объектов, которые взаимодействуют автономно, спроектированные таким образом, чтобы вызвать сближение цифровой интернет-мир с физическими вещами. Термин «промышленный Интернет вещей» относится к применению технологий IIoT в промышленных условиях. Его также называют «Индустрия 4.0» – термин, появившийся на немецком языке из-за возможности интеграции цифровой и физической индустрии. Промышленность IIoT или 4.0 включает в себя облако, большие данные, киберфизические межсоединения [1].

Существует несколько стандартов и методологий оценки рисков, таких как NIST и ISO27001, но, хотя они и объясняют общие принципы и рекомендации, они не содержат каких-либо деталей реализации [2]. Агентство Европейского Союза по сетевой

---

\* E-mail корреспондирующего автора: whitesilk@mail.ru

и информационной безопасности (ENISA) – это экспертный центр, который разрабатывает советы и рекомендации по передовой практике в области информационной безопасности. С 2015 года ENISA предоставляет заинтересованным сторонам новейшие документы, охватывающие вопросы безопасности в области Интернета вещей и промышленного Интернета вещей (IIoT), связанные с проблемами интеллектуального производства и Индустрии 4.0. Стандартов оценки рисков, разработанных специально для промышленных систем, практически нет [3].

Системы IIoT обладают собственной динамикой и уникальностью, что требует новых подходов к оценке рисков. Оценка рисков предоставляет промышленным системам точную оценку рисков для их активов. Это может помочь им расставить приоритеты и разработать комплексную стратегию снижения рисков.

Учитывая ограниченность количественных подходов, разработанная модель рекомендует качественный метод, основанный на экспертных заключениях, и нечеткие методы оценки рисков информационной безопасности.

**Предлагаемая модель.** Принятие решений по нескольким критериям – это метод, основанный на таблицах принятия решений, где ценность каждой альтернативы в принятии решений определяется экспертами. Целью многокритериальных методов принятия решений является оценка и определение приоритета среди различных альтернатив. MCDM использует различные методы, самые известные и широко используемые: АНР, TOPSIS и SAW.

Как уже упоминалось, метод АНР [4] основан на парных сравнениях и очень точен, но не может быть легко принят экспертами. Кроме того, в энтропийном методе, если все альтернативы в критерии имеют «очень высокое» значение, это приводит к значительному снижению веса этого критерия. В этой работе мы ищем реальную ценность альтернатив, и относительную ценность для случая «очень высокой» следует использовать для определения ценности этой альтернативы.

В TOPSIS [5] выбранная альтернатива должна быть как можно ближе к положительному идеалу и как можно дальше от отрицательного идеального решения. Поэтому, если мы применяем метод TOPSIS для оценки риска, он расставляет приоритеты и ранжирует риски, но это не наша цель. Таким образом, метод TOPSIS не может быть использован непосредственно в нашей модели.

Метод простого аддитивного взвешивания (SAW) [6] является наиболее популярным подходом для принятия решений по нескольким критериям. В методике SAW определение веса критериев в таблицах принятия решений производится по мнению респондентов. Как правило, эта задача выполняется либо в соответствии со значениями таблиц принятия решений, как для методов энтропии Шенона и LINMAP, либо определяется непосредственно респондентами, например, попарными сравнениями или присвоением весов непосредственно экспертами.

Поскольку наша цель – практическая модель для любой организации, для реализации была выбрана методология SAW. Кроме того, поскольку оценка риска относится к неоднозначным темам, нечеткая логика подходит для оценки неопределенных

предметов, и с ее помощью эксперты могут выражать свое мнение в виде лингвистических переменных, таких как «очень высокий», «низкий» и т.д.

Алгоритм реализации данной модели состоит из 9 этапов (Рисунок 1) [7]:

1. Получение экспертных заключений в виде лингвистических переменных о важности каждой области. Это должно быть сделано на основе таблицы решений, в которой указывается вес каждого критерия.

2. Получение экспертных заключений каждой области о проявлении нанесенного ущерба и вероятности возникновения каждой угрозы, связанной с каждой областью, в виде лингвистических переменных.

3. Замена лингвистических переменных нечеткими переменными. Объединение всех мнений экспертов в каждой области и создание матрицы решений.

$$x_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij},) \quad (1)$$

$$w_j = (w_{ij}^1, w_{ij}^2, w_{ij}^n) \quad (2)$$

$$x_{ij} = \frac{1}{n} [x_{ij}^1(+), x_{ij}^2(+), \dots, x_{ij}^n(+)] \quad (3)$$

$$w_{ij} = \frac{1}{n} [w_{ij}^1(+), w_{ij}^2(+), \dots, w_{ij}^n(+)] \quad (4)$$

где  $x_{ij}$  и  $w_j$  – треугольные нечеткие числа,  $n$  – количество человек, из которых состоит группа принятия решений.

4. Этап фаззификации заключается в применении решающих правил к входным данным (экспертные оценки вероятности и ущерба от угрозы) и служит для преобразования четких входных данных в нечеткий формат. Линейная нормализация консолидированной матрицы.

5. Деффазификация комбинированных весов с использованием метода расстояния со знаком и нормализации:

$$w_j = \frac{w_j}{\sum jw_j} \quad (5)$$

6. Расчет матрицы весов.

7. Расчет вероятности возникновения угрозы в каждой области.

8. Деффазификация нечетких значений методом простого аддитивного взвешивания (SAW) для каждой угрозы и расчет уровня риска для каждого домена.

9. Рассчитайте общий уровень риска организации, умножив уровень риска угрозы на коэффициент важности каждой области.

Различные категории и типы активов информационных технологий (ИТ) определены на основе документа ENISA «Кибербезопасность Индустрии 4.0: проблемы и рекомендации (2019)» [12]. В таблице 1 определены категории и типы активов в системах ИТ с учетом необходимых цифровых и физических элементов.

Таблица 1 – Категории и типы активов в системах ИТ

| Категория               | Тип   |
|-------------------------|---|
| Аппаратное обеспечение  | Здание, местоположение, устройство, шлюз, оконечные устройства периферийного ИТ (датчики, исполнительные механизмы) |
| Программное обеспечение | Приложение, платформа, система, промежуточное ПО, операционная система, прошивка                                    |
| Коммуникация            | Облако, коммуникационные сети и компоненты АСУ ТП (коммутаторы, точки беспроводного доступа, источники питания)     |
| Информация              | Данные в состоянии покоя (DAR), используемые данные (DIU), данные в движении (DIM)                                  |
| Серверы и системы       | Серверы приложений, серверы баз данных, корпоративные операционные системы, производственные операционные системы   |
| Безопасность            | Антивирус, межсетевой экран, SIEM IDS / IPS   |
| Человек                 | Человек, знания и навыки персонала  |

**Результаты экспериментов.** Алгоритм оценивания риска, основанный на положениях нечеткой логики и теории нечетких множеств, предлагается реализовать с помощью пакета Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB [8]. Учитывая четыре входных переменных (Таблица 2), воспроизводится механизм вывода при помощи продукционных правил нечеткой логики. Структура нечеткой модели представлена на рисунке 1.

Таблица 2 – Входные и выходная переменные

| Входные характеристики                    | Терм-множества            |
|---|---------------------------|
| 1   | 2                         |
| Финансовые затраты (Financial cost)       | Низкие                    |
|   | Средние                   |
|   | Высокие                   |
| Уязвимость (Vulnerability)                | Низкие                    |
|   | Средние                   |
|   | Высокие                   |
| Ценность актива (Attraction of the asset) | Очень низкая              |
|   | Низкая                    |
|   | Средняя                   |
|   | Высокая                   |
|   | Критически высокая        |
| Существующий контроль (Existing control)  | Удовлетворительный        |
|   | Достаточный               |
|   | Полностью удовлетворяющий |
| Выходная характеристика                   |                           |

Окончание таблицы 2

|               |                    |
|---------------|--------------------|
| 1             | 2                  |
| Уровень риска | Очень низкий       |
|               | Низкий             |
|               | Средний            |
|               | Высокий            |
|               | Критически высокий |

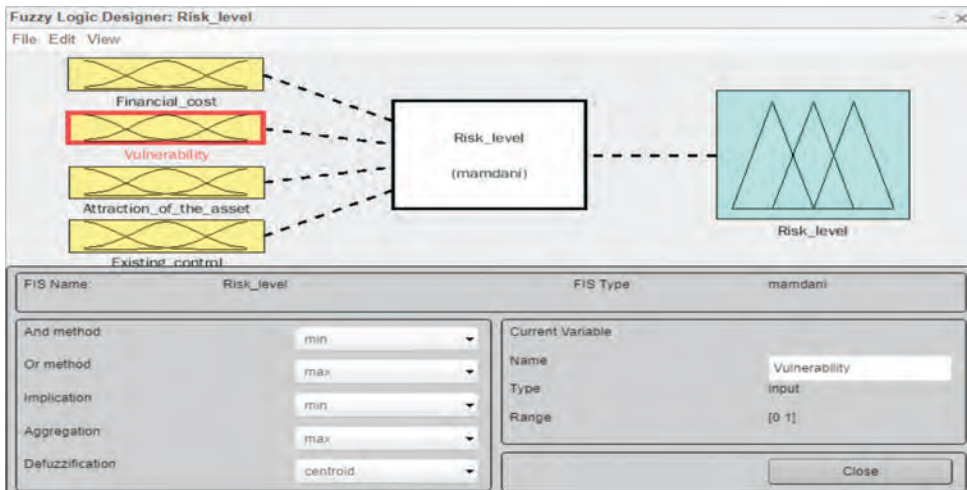


Рисунок 1 – Структура нечеткой модели

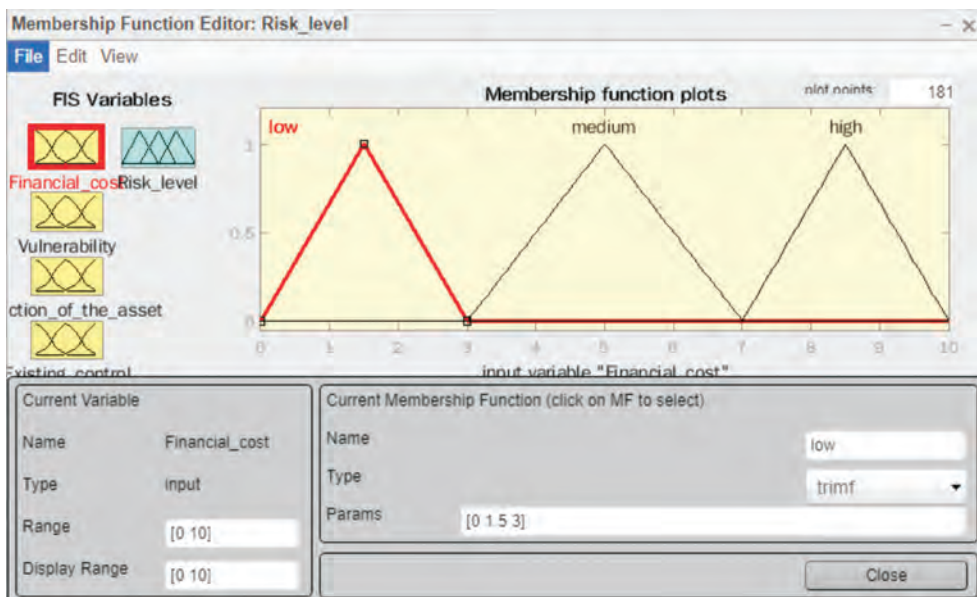


Рисунок 2 – Функции принадлежности для входной характеристики «Финансовые затраты»



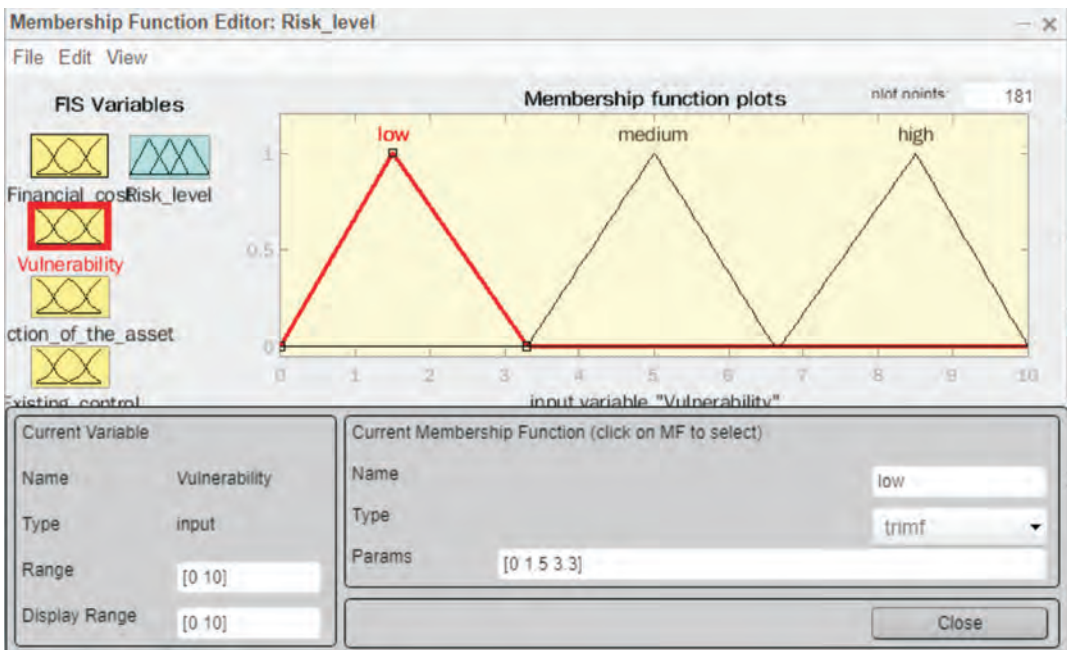


Рисунок 3 – Функции принадлежности для входной характеристики «Уязвимость»

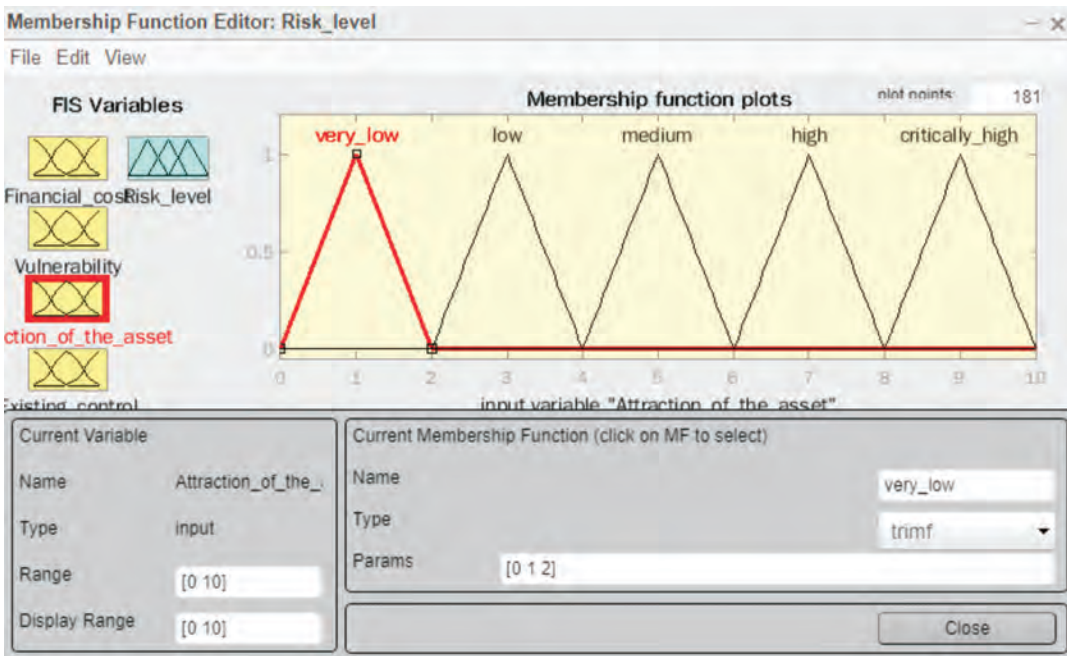


Рисунок 4 – Функции принадлежности для входной характеристики «Ценность актива»

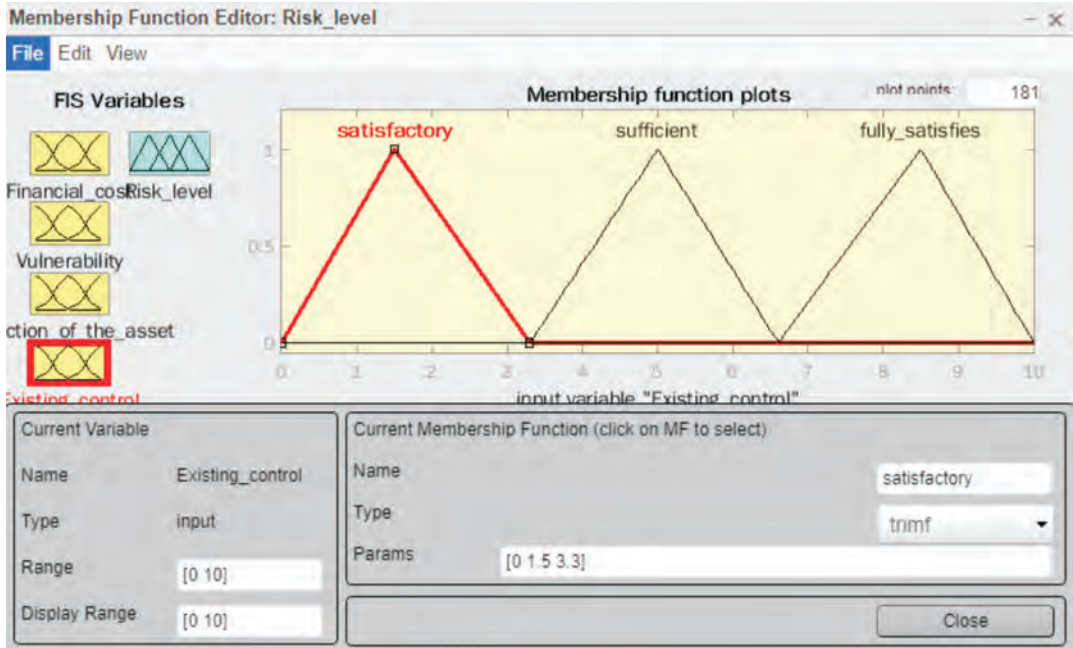


Рисунок 5 – Функции принадлежности для входной характеристики «Существующий контроль»

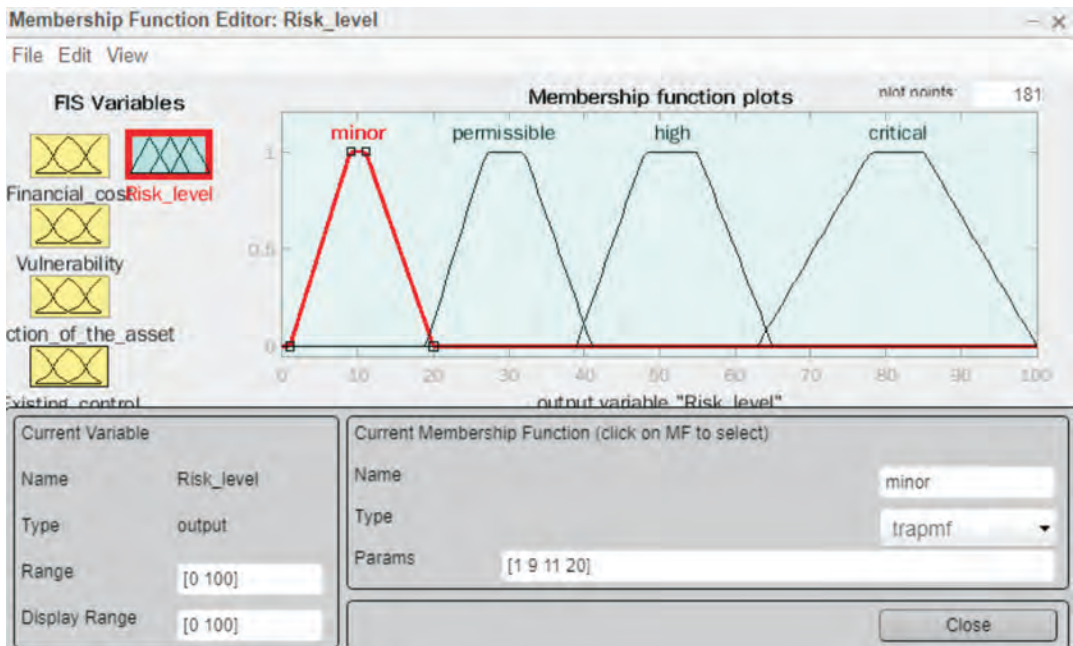


Рисунок 6 – Функции принадлежности для выходной характеристики «Уровень риска»



На рисунке 7 представлены продукционные правила, вводимые с использованием нечеткой базы знаний.

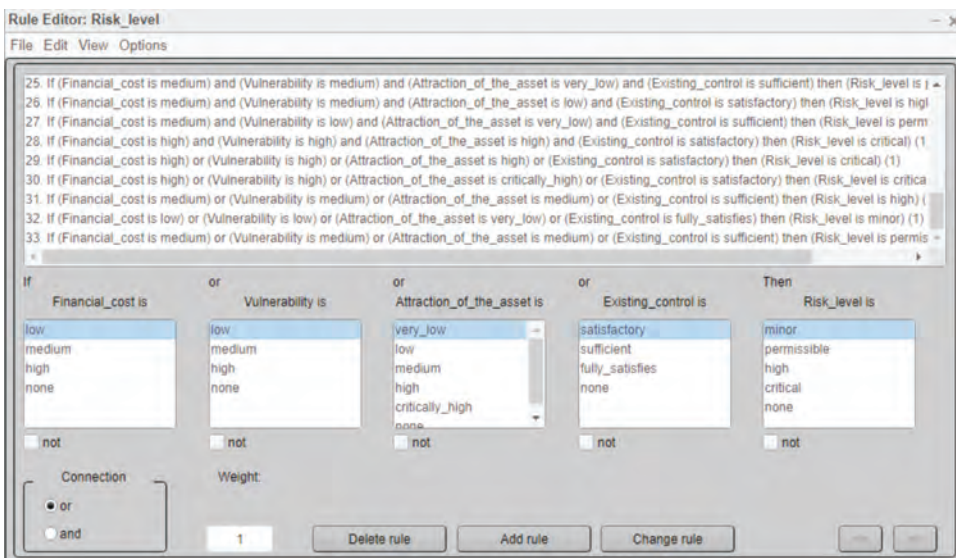


Рисунок 7 – Продукционные правила

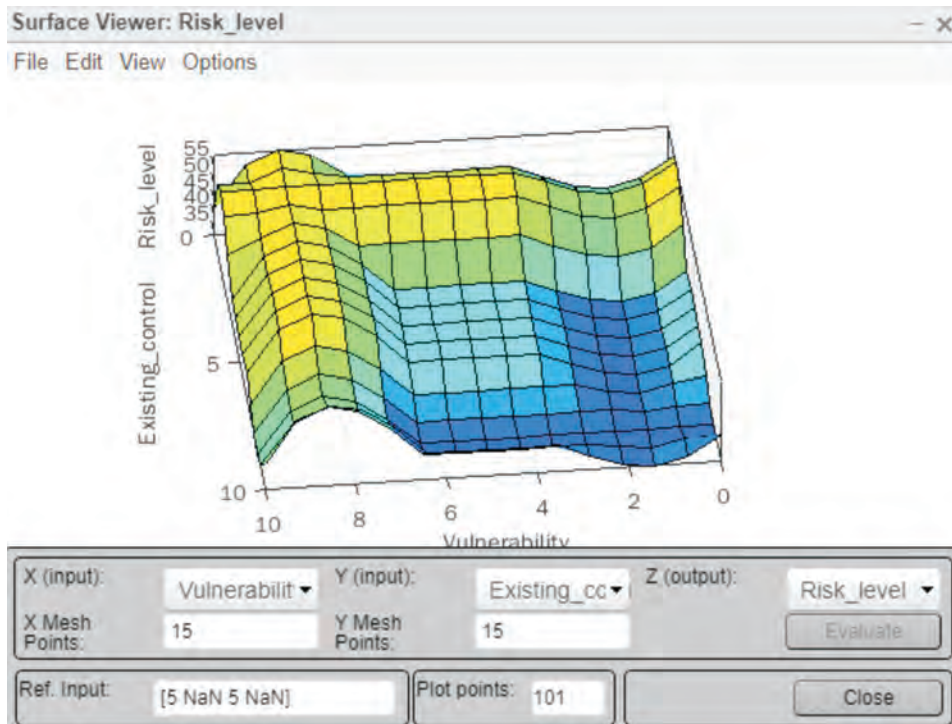


Рисунок 8 – Визуализация зависимости риска от уровня существующего контроля и уязвимости

Зная зависимость риска от значений входных параметров и используя данный алгоритм, можно определить предельный объем и структуру данных при использовании ИИТ.

**Заключение.** Внедрение промышленных интернет-систем требует мощного инструмента для оценки рисков промышленных систем. В предложенной модели использовался нечеткий метод для связи мнений экспертов с лингвистическими переменными. Эти лингвистические переменные более точно отражают мнения экспертов. Эксперты представляют свое мнение по конкретным критериям, что позволяет нам повысить точность и надежность результатов. В результате, используя этот процесс, мы можем рассчитать уровень риска всех угроз, связанных с другими доменами. Модель, рекомендованная в этом исследовании, является многообещающей идеей для правильного анализа безопасности промышленных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Амирова А., Тохметов А., Жанасбаева А. Исследование требований для построения модели обеспечения безопасности промышленного интернета вещей // Известия научнотехнического общества «Кахак». – 2020. – №.3 (72). – С. 8–16
- 2 Амирова А., Тохметов А., Жанасбаева А. Основные проблемы безопасности в промышленном интернете вещей// Вестник Восточно-Казахстанского технического университета им. Д.Серикбаева. – 2021. – №.1. – С.82-90
- 3 Управление рисками информационной безопасности // Международная организация по стандартизации, ISO / IEC 27005. – 2008
- 4 Накамура Э. Т., Рибейро С. Л. Методология оценки рисков, сфокусированных на конфиденциальности, безопасности, устойчивости и надежности для систем ИИТ. Шаги по созданию и использованию безопасных систем ИИТ// Глобальный саммит Интернета вещей (GIoTS), 2018. – С. 1-6. DOI: 10.1109 / GIOTS.2018.8534521.
- 5 Фигероа-Лоренцо С. Обзор протоколов Интернета вещей: мера анализа рисков уязвимости на основе CVSS // ACM Comput. Surv. – 2020. – №. 2. С. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1145/3381038>
- 6 Чжоу Ю. Нечеткая простая аддитивная система взвешивания при групповом принятии решений для выбора места расположения объекта с объективными/субъективными признаками// Опер.Рес. – 2018. – №. 189. – С. 132–145
- 7 Амирова А., Тохметов А. Модель анализа рисков в промышленном Интернете вещей // Журнал теоретических и прикладных информационных технологий. – 2021. – №14 (99). – С. 3449-3459
- 8 Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005

#### REFERENCES

- 1 Amirova A., Tohmetov A., Zhanasbaeva A. Issledovanie trebovanij dlya postroeniya modeli obespecheniya bezopasnosti promyshlennogo interneta veshchej // Izvestiya nauchno-tekhnicheskogo obshchestva «Kahak». – 2020. – №.3 (72). – S. 8–16
- 2 Amirova A., Tohmetov A., Zhanasbaeva A. Osnovnye problemy bezopasnosti v promyshlennom internete veshchej// Vestnik Vostochno-Kazahstanskogo tekhnicheskogo universiteta im. D.Serikbaeva. – 2021. – №.1. – S.82-90

3 Upravlenie riskami informacionnoj bezopasnosti // Mezhdunarodnaya organizaciya po standartizacii, ISO / IEC 27005. – 2008

4 Nakamura E. T., Ribejro S. L. Metodologiya ocenki riskov, sfokusirovannyh na konfidencial'nosti, bezopasnosti, ustojchivosti i nadezhnosti dlya sistem IIoT. SHagi po sozdaniyu i ispol'zovaniyu bezopasnyh sistem IIoT// Global'nyj sammit Interneta veshchej (GIOTS), 2018. – S. 1-6. DOI: 10.1109 / GIOTS.2018.8534521.

5 Figueroa-Lorenzo S. Obzor protokolov Interneta veshchej: mera analiza riskov uyazvimi na osnove CVSS // ACM Comput. Surv. – 2020. – №. 2. S. 53–60. DOI: <https://doi.org/10.1145/3381038>

6 CHzhou YU. Nechetkaya prostaya additivnaya sistema vzveshivaniya pri gruppovom prinyatii reshenij dlya vybora mesta raspolozheniya ob»ekta s ob»ektivnymi/sub»ektivnymi priznakami// Oper.Res. – 2018. – №. 189. – S. 132–145

7 Amirova A., Tohmetov A. Model' analiza riskov v promyshlennom Internetе veshchej // ZHurnal teoreticheskikh i prikladnyh informacionnyh tekhnologij. – 2021. – №14 (99). – S. 3449-3459

8 Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. – SPb.: BHV-Peterburg, 2005

**A. С. АМИРОВА, А. Т. ТОХМЕТОВ**

*Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
whitesilk@mail.ru, attohmetov@mail.ru*

## **АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ТӘУЕКЕЛДЕРІН ӨНЕРКӘСІПТІК ЗАТТАР ИНТЕРНЕТ ЖЕЛІЛЕРІНДЕ ТАЛДАУ**

*Өнеркәсіптік заттар интернетінің (IIoT) қарқынды дамуымен жылдам әрекет ету, ба-  
сыт кіруді анықтау және болдырмау қажеттілігі туындады. Бұл мәселелер әсіресе IIoT  
пайдаланушыларының болжамды өсуіне байланысты өзекті болып табылады. Тәуекелдерді  
бағалау ақпараттық қауіпсіздік жүйелерін, оның ішінде өндірістік кеішендерді құру процесінің  
маңызды бөлігі болып табылады. Бұл жұмыстың мақсаты өнеркәсіптік Интернет желісінде  
ақпараттық қауіпсіздік тәуекелдерін бағалаудың практикалық моделін әзірлеу болып табылады.  
Ұсынылған модель қарапайым аддитивті салмақтау әдісіне және анық емес логикаға негізделген.  
Бұлыңғыр логика тәуекелді бағалауға сәйкес келеді және практикалық нәтижелерді көрсетеді.  
Ережелер базасын анық емес модельдеу процесін жүзеге асыру MATLAB бағдарламалық құралының  
Fuzzy Logic Toolbox арнайы пакетін қолдану арқылы жүзеге асырылады.*

***Түйін сөздер:** заттардың өнеркәсіптік Интернеті (IIoT), қарапайым өлшеу әдісі (SAW),  
қауіпсіздік, қауіптер.*

**A. S. AMIROVA, A. T. TOKHMETOV**

*Eurasian National University, Nur-Sultan Kazakhstan  
whitesilk@mail.ru, attohmetov@mail.ru*

## **INFORMATION SECURITY RISK ANALYSIS IN THE NETWORKS OF THE INDUSTRIAL INTERNET OF THINGS**

*With the rapid development of the Industrial Internet of Things (IIoT), there has been a need to  
respond quickly, detect and prevent intrusions. These problems are especially relevant due to the projected*

*growth in IIoT users. Risk assessment is an important part of the process of creating information security systems, including industrial complexes. The aim of this work is to develop a practical model for assessing information security risks in industrial Internet of Things networks. The proposed model is based on a simple additive weighting method and fuzzy logic. Fuzzy logic is appropriate for risk assessment and represents practical results. The implementation of the process of fuzzy modeling of the rule base is carried out by using the specialized package Fuzzy Logic Toolbox of the MATLAB software tool.*

**Keywords:** *Industrial Internet of Things (IIoT), Simple Additive Weighting Method (SAW), Security, Threats.*

**Б. С. АХМЕТОВ<sup>1</sup>, В. А. ЛАХНО<sup>2</sup>, М. Б. ЫДЫРЫШБАЕВА<sup>3\*</sup>,  
А. К. АБУОВА<sup>4</sup>, Ш. САГЫНДЫКОВА<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Украинаның Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті,  
Киев, Украина

<sup>3</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы,  
Қазақстан

<sup>4</sup>Қазақ теміржол көлігі университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>5</sup>Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан

## **КИБЕРШАБУЫЛДАРДЫҢ САЛДАРЫН БАҒАЛАУҒА АРНАЛҒАН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІ**

*Байес желілерін (БЖ) қолдану арқылы есептерді шешу үшін аномалиялар мен кибершабуылдар белгілері туралы деректерді талдауға әзірленген Bayesian Net шешім қабылдауды қолдау жүйесінің (ШҚҚЖ) архитектурасы сипатталған. Ұсынылған ШҚҚЖ объектіге бағытталған бағдарламалауды қолданумен ерекшеленеді және модульдік архитектураға ие. Bayesian Net ШҚҚЖ деректерді интеллектуалды талдау есептерін шешуге, атап айтқанда ақпараттандыру объектілерінің (АО) кибернетикалық қауіпсіздігімен (КҚ) байланысты әлсіз құрылымдалған мәселелерді талдауға және белгілер мен анықталған ауытқулар туралы әлсіз құрылымдалған деректер жағдайында кибершабуылдардың салдарын бағалауға арналған.*

***Түйін сөздер:** Байес желісі, кибернетикалық қауіпсіздік, шешім қабылдауды қолдау жүйесі, бағдарламалық өнім.*

**Кіріспе.** Ақпараттандыру объектілеріне (АО) бағытталған шабуылдарды жүргізу сценарийлерінің күрделілігінің өсуіне қарай кибернетикалық қауіпсіздік (КҚ) саласында шешімдер қабылдау барынша күрделі міндетке айналууда. Сонымен қатар, оны шешу үшін КҚ саласының сарапшылары арнайы әдебиеттерде аз сипатталған немесе алғаш рет кездесетін жаңа қауіптерді талдау үшін әлсіз құрылымдалған деректермен (ӘҚД) жұмыс жасауына тура келеді. Мақсатты (таргеттелген) шабуылдарды жүргізу барысында хакерлер көбінесе бірегей зиянды бағдарламалар мен АО-ға ену әдістерін жиі қолданады. АО-ға заңсыз әсер ету күрделілігінің тұрақты өсуіне, ақпаратты қорғау жүйелерінің құрылымына біріктірілген шешімдерді қолдау жүйелерінің (ШҚҚЖ) модульдері бар аномалиялар мен кибернетикалық шабуылдарды интеллектуалды тану жүйелерін қолдана отырып қарсы тұруға болады.

**Алдыңғы зерттеулерге шолу.** АО-де кибершабуылдар санының өсуі соңғы жылдары АҚ және КҚ саласындағы КҚ [1, 2] міндеттері бойынша тиімді ШҚҚЖ әзірлеуге қызығушылық тудырды.

[3, 4] жұмыстарда АҚ және КҚ есептерінде Data Mining технологиялары қарастырылды. Бұл зерттеулерде АОКҚ қамтамасыз етумен байланысты жағдайлардың эволюциясының заңдылықтарын анықтауға баса назар аударылады. Қарастырылған жұмыстарда бағдарламалық кешендер тәжірибе жүзінде іске асырылмады.

\* E-mail корреспондирующего автора: [moldir.ydyryshbaeva@gmail.com](mailto:moldir.ydyryshbaeva@gmail.com)

[5, 6] жұмыстарда АО КҚ есептерінде интеллектуалды модельдеу әдістемесі талданады. Авторлар ұсынған әдістеме ақпаратты қорғаудың (АҚ) жеткіліксіз құрылымдалған жағдайларын талдауға және шешім қабылдауға арналған. Алайда, бұл зерттеулер аппараттық немесе бағдарламалық құрал ретінде жүзеге асырылмаған.

[7-11] жұмыстарда белгілер мен анықталған аномалиялар туралы ӘҚД жағдайында кибершабуылдардың салдарын бағалау үшін БЖ қолданудың орындылығы туралы қорытынды жасалды.

**Мақаланың негізгі материалы.** Зерттеу барысында әзірленген ШҚҚЖ себеп-салдарлық байланыстарды талдау, жіктеу, кластерлеу, болжау және визуализация сияқты киберқауіпсіздікке (КҚ) байланысты міндеттерді шешуге бағытталған компьютерлік жүйе болып табылады. Бұл міндеттерді шешу бұрын сарапшылардан алынған оқу деректері бойынша сарапшылардың қатысуынсыз жүзеге асырылады. Сарапшылардың қатысуы шабуыл белгілері ӘҚД жағдайында талдау жүргізу ғана қажет. Әзірленген ШҚҚЖ-ның негізгі міндеті – шешім қабылдаушы тұлғаға көмек көрсету (ШҚТ). Әзірленген ШҚҚЖ «Bayesian\_Net» атауын алды. Bayesian\_Net техникалық тұрғыда десктопты бағдарламалық жасақтама (бағдарламалық қамтамасыз ету) санатына жатады, өйткені ол пайдаланушының тек бір компьютеріне қызмет етеді және әдепкі қалпы бойынша желіге қосылмаған. Bayesian\_Net – бұл белсенді ШҚҚЖ, яғни ол пайдаланушыға қорғалатын желіде белгілі бір оқиғаның пайда болу ықтималдығының алынған мәндері негізінде шешім қабылдауына көмектеседі.

Bayesian\_Net жартылай автоматты режимде БЖ түріндегі модельдерді құруға және шабуылдардың белгілері бойынша қолда бар деректер негізінде сәйкес ықтималдық қорытындыны қалыптастыру арқылы жіктеу, кластерлеу және болжау мәселелерін шешуге қабілетті.

Дайындалған Bayesian\_Net ШҚҚЖ блок-схемасы 1-суретте көрсетілген. Bayesian\_Net ШҚҚЖ үш негізгі ішкі жүйеден тұрады және блоктық-модульдік архитектураға ие.

Енгізу-шығару құрылғылары пайдаланушыға БЖ құру және жасырын төбелердің параметрлерін үйрету үшін деректерді жүктеуге, сонымен қатар жұмыс нәтижелерін сыртқы файлдарға сақтауға мүмкіндік береді.

Интерфейстің ішкі жүйесі пайдаланушыны, Bayesian\_Net ШҚҚЖ ішкі элементтерімен, сыртқы сақтау құрылғыларымен және енгізу-шығару құрылғыларымен байланыстырады. Интерфейс пайдаланушыға деректерді жүктеуге, жүйеге командалар мен сұраныстарды енгізуге, деректер мен нәтижелердің графикалық көрінісін алуға және нәтижелерді сақтауға мүмкіндік береді.

Ақпаратты сақтаудың ішкі жүйесі жалпы деректер қорынан (ДҚ), модельдер қорынан (МҚ) және білім қорынан (БҚ) тұрады, олар оқу мәліметтерін, БЖ негізінде дайын модельдерді жинақтауға арналған.

Bayesian\_Net ШҚҚЖ талдаудың негізгі ішкі жүйесі БЖ негізіндегі деректерді талдауға арналған. Яғни, ол БЖ және ықтималды қорытынды құруға, БЖ берілген құрылымы бойынша генерация жасауға және жасырын төбелердің параметрлерін оқытуды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Талдаудың негізгі ішкі жүйесі бес блоктан тұрады:

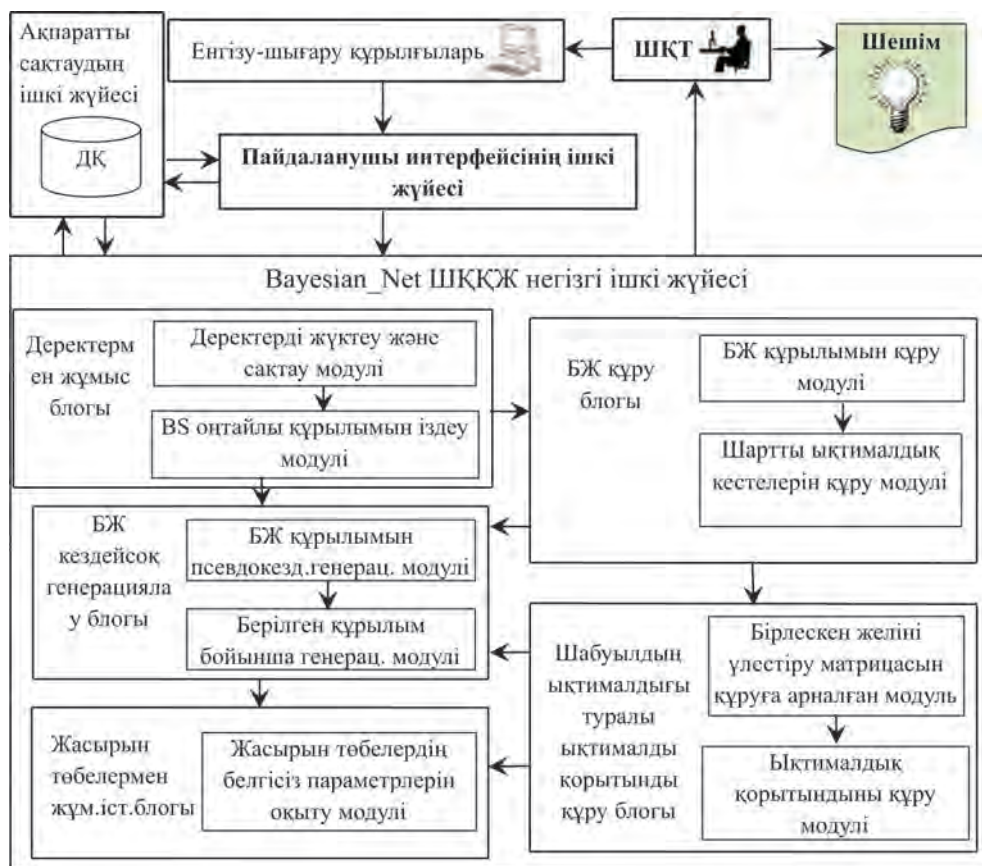
1 блок – деректермен жұмыс;

2 блок – БЖ құру;



- 3 блок – ықтималды қорытынды құру;
- 4 блок – кездейсоқ БЖ генерациясы;
- 5 блок – БЖ жасырын төбелерімен жұмыс істеу.

ШҚҚЖ Bayesian\_Net-тің ішкі жүйесіне мәліметтер ақпаратты сақтаудың ішкі жүйесінен деректер шинасы арқылы келеді.



1 – сурет – Bayesian\_Net ШҚҚЖ архитектурасы

Деректермен жұмыс істеу блогы БЖ оңтайлы құрылымын іздеуге, БЖ құру үшін сыртқы деректерді жүктеуге, сонымен қатар үлгіні генерациялау нәтижесінде алынған деректерді сақтау үшін арналған.

Бұл блок келесі модульдерден тұрады:

- 1 модуль – деректерді жүктеу және сақтау;
- 2 модуль – БЖ оңтайлы құрылымын іздеу.

Деректерді жүктеу және сақтау модулі деректерді Excel файлынан жүктеуге және жасалған деректерді Excel файлына қайта жазуға арналған.

БЖ-ның оңтайлы құрылымын іздеу модулі шыңдар арасындағы қатынасты есептеу әдісін таңдау арқылы желі топологиясын табу үшін БЖ құрудың эвристикалық алгоритмін қолданады.

Төбелер арасындағы өзара байланысты есептеуде келесі тәсілдер қолданылады: өзара ақпарат мәндері; Пирсон коэффициенті; Крамер коэффициенті; Чупров коэффициенті; Гудман лямбдасының мәні.

БЖ құру блогы графикалық интерфейсті қолдана отырып, БЖ-ны "қолмен" құруға мүмкіндік береді. Блок келесі модульдерден тұрады:

1 модуль – БЖ құрылымын құру;

2 модуль – шартты ықтималдық кестелерін құру.

БЖ құрылымын құру модулі БЖ-ны "қолмен" құруға арналған құралдарды қолданады және төбелерді, олардың арасындағы байланыстарды құруға және жоюға, төбелердің аттарын көрсетуге немесе жасыруға және құрылыс өрісін тазартуға мүмкіндік береді.

Шартты ықтималдық кестелерін құру модулі төбенің атын өндеуге, төбенің күйін өзгертуге, оларды қосуға, өшіруге, атын өзгертуге және шартты ықтималдық кестелерін толтыруға мүмкіндік береді.

Ықтималдық қорытындыны құру блогы БЖ құрылымын құру блогынан келетін БЖ құрылымы бойынша ықтималдық қорытындысын құруға арналған. Блок келесі модульдерден тұрады:

1 модуль – бірлескен үлестіру матрицасын құру;

2 модуль – ықтималдық қорытындыны құру.

Бірлескен үлестіру матрицасын құруға арналған модуль барлық БЖ-ның бірлескен ықтималдық үлестірімінің эмпирикалық мәндерінің матрицасын құруға арналған.

Ықтималдық қорытындыны құру модулі ықтималдықтың бірлескен үлестірімінің эмпирикалық мәндерінің матрицасына негізделген БЖ-де ықтималдық қорытынды жасайды.

Кездейсоқ генерация блогы берілген параметрлер бойынша желі құрылымын псевдокездейсоқ генерациялауға және берілген құрылым бойынша іріктеуге арналған.

Блок құрамына келесі модульдер кіреді:

1 модуль – псевдокездейсоқ желі құрылымының генерациясы;

2 модуль – берілген құрылым бойынша іріктеменін генерациясы.

**Желі құрылымын псевдокездейсоқ генерациялауға арналған модуль.** БЖ-де аспалы төбелерді болдырмау үшін тізбектегі барлық төбелердің комбинациясы жүзеге асырылды. Бұл жағдайда байланыс бағыты кездейсоқ таңдалады. Салынған төбелер үшін байланыстар саны  $N - 1$  болады. Онда  $M - N + 1$  арқылы аталық пен еншілес төбелерін кездейсоқ таңдау арқылы салынған қалған байланыстардың санын өрнектейміз. Байланыс қосылған кезде циклдік тексеру жүргізіледі. Егер жаңа байланыс цикл құрса, онда ол қабылданбайды және БЖ үшін жаңа аталық мен еншілес төбелері таңдалады.

Шартты ықтималдық кестелері оларды 0-ден 1-ге дейінгі диапазондағы кездейсоқ сандармен толтыру арқылы анықталады, содан кейін қалыпқа келтіріледі (жол бойынша ықтималдық қосындыларын 1-ге келтіру қажет).

**Берілген құрылым бойынша іріктемені генерациялау модулі.** Іріктемені генерациялау келесідей болады. Алдымен, ықтималдық қорытынды БЖ-де анықталмаған (инстанцированных) төбелерсіз жасалады (төбелер үшін параметрлер берілмеген).



Әрі қарай, әр төбенің күйлері кезекпен өзгертіледі (класс даналары жасалады), олар іріктемедегі жазбалардың қажетті санын құрайды.

Жасырын төбелермен жұмыс істеу блогы жасырын төбелердің белгісіз параметрлерін оқытудың бір модулінен тұрады. Бұл блок логарифмдік ықтималдылық функциясының критерийі бойынша EM-алгоритмді пайдалана отырып, желі параметрлерін итерациялық табуға арналған.

Bayesian\_Net ШҚҚЖ архитектурасының негізінде деректер мен анықталған ауытқулар туралы ӘҚД жағдайында кибершабуылдардың салдарын бағалау үшін БЖ қолдану негізінде деректерді талдауға арналған компьютерлік бағдарлама жүзеге асырылды. Іске асыру үшін Delphi 10 жоғары деңгейлі тілі (RAD Studio 10.4 жобалау ортасы) қолданылады. Rad Studio 10.4 жобалау ортасын таңдау себебі - ол тиімді объектіге бағытталған бағдарламалау құралы, дамыған алгоритмдерді ерекшеліктері мен әдістерді мұрагерлікпен класс иерархиясы түрінде ұсынуға мүмкіндік береді. Бұл ақпараттандырудың әртүрлі объектілерін одан әрі зерттеу үшін тиімді және сенімді бағдарламалық өнімді, икемді жүйені алуға мүмкіндік береді.

Bayesian\_Net ШҚҚЖ келесі негізгі мүмкіндіктерді ұсынады:

Кез-келген тапсырмалар үшін, оның ішінде белгілер мен анықталған ауытқулар бойынша ӘҚД жағдайында кибершабуылдардың салдарын бағалау және деректерді талдау тапсырмалары үшін Байес желісінің құрылымын құру;

– АЖ КҚ-не анықталған ауытқулар мен белгілерді ӘҚД жағдайында кибершабуылдардың салдарын бағалау туралы ықтималды қорытынды қалыптастыру;

– БЖ құрылымы және іріктемелерді генерациялау;

– Жасырын төбелері бар белгісіз БЖ параметрлерін табу.

Bayesian\_Net ШҚҚЖ пайдаланушыға ыңғайлы интерфейспен жасалған және оны игеру арнайы дағдыларды қажет етпейді. БЖ құру принциптері туралы жалпы білімнің болуы жеткілікті.

Bayesian\_Net ШҚҚЖ ақпараттандыру объектісі желісіндегі белгілер мен анықталған ауытқулар туралы ӘҚД жағдайындағы кибершабуылдардың салдарын бағалау міндеттерін талдау процесінде сарапшысының көмегімен ақпараттық қауіпсіздікке байланысты мәселелерді шешуге бағытталған. Бастапқы кезеңде сарапшы қорғаныс объектісі үшін типтік жағдайлардың үлгілерін дербес жасай алады, яғни Bayesian\_Net ШҚҚЖ -де тікелей БЖ құра алады немесе жоғарыда аталған мәселені шешуге арналған БЖ репозиторийін пайдалануға болады. Жалпы АО АҚЖ-ге басып кірудің кезеңдері мен қауіптерін болжау кезінде ШҚҚЖ есептеу ядросы үшін жасалған БЖ үлгілері әмбебап болып табылады. Алайда, сарапшы өзінің қорғаныс объектісі үшін осы үлгілерді пайдалану ерекшеліктерін өз бетінше бағалауы керек. Бұрын [10, 11] жасалған жұмыстарда БЖ үлгілері көптеген кездейсоқ айнымалылармен жұмыс істеуге және кибернетикалық қауіптің немесе қорғаныс объектісінде берілген жағдайларда басып кірудің нақты кезеңінің ықтималдығын анықтауға мүмкіндік береді. ШҚҚЖ тиімді жұмыс істеу үшін репозиторийдегі БЖ-ны оқыту қажет. Bayesian\_Net ШҚҚЖ-де БЖ оқытуда шартты қорғау объектісі үшін қолда бар статистикалық деректер негізінде Em-алгоритм қолданылды.

Сыртқы файлдан жүктелген деректер бойынша БЖ құру процесі қарастырылады. 2 және 3-суреттерде көрсетілгендей Bayesian\_Net ШҚҚЖ Excel файлдарымен жұмыс істеуге арналған.

|    | A              | B           | C                 | D         | E                | F               |
|----|----------------|-------------|-------------------|-----------|------------------|-----------------|
| 1  | p_availability | p_integrity | p_confidentiality | n_network | a_authentication | a_qualification |
| 2  | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 3  | 1              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 4  | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 5  | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 6  | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 7  | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 8  | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 9  | 1              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 10 | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 11 | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 12 | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |
| 13 | 0              | 0           | 0                 | 0         | 0                | 1               |

2 – сурет – Excel форматындағы деректердің мысалы

Excel файлындағы сыртқы деректердің мысалы ретінде "Ақпараттық жүйеде деректерді түрлендіру" қаупі үшін шартты ықтималдық кестесінің бөлігінің фрагменті келтірілген. Есептеу Bayesian\_Net ШҚҚЖ-де EM-алгоритмі бойынша жасалады.

3 – сурет – Excel файлынан жүктелген сыртқы деректер терезесінің мысалы

1-кесте – "Ақпараттық жүйеде деректерді түрлендіру" қаупінің шартты ықтималдық кестесі үшін эксперименталды түрде алынған мәндері (EM-алгоритм бойынша есептеу)

|           |                   |               |        |        |       |        |        |
|-----------|-------------------|---------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Факторлар | p_availability    | Толық         |        |        |       |        |        |
|           | p_integrity       | Толық         |        |        |       |        |        |
|           | p_confidentiality | Толық         |        |        |       |        |        |
|           | n_network         | Сегментаралық |        |        |       |        |        |
|           | a_authentication  | Болмау        |        |        | Әлсіз |        |        |
|           | a_qualification   | Төмен         | Орташа | Жоғары | Төмен | Орташа | Жоғары |

1-кестенің соңы

|               |          |         |         |       |        |        |       |
|---------------|----------|---------|---------|-------|--------|--------|-------|
| Қауіп деңгейі | trivial  | 0,00061 | 0,00061 | 0,027 | 0,0075 | 0,0075 | 0,027 |
|               | low      | 0,00061 | 0,00061 | 0,027 | 0,0075 | 0,0075 | 0,027 |
|               | medium   | 0,00061 | 0,00061 | 0,92  | 0,0075 | 0,0075 | 0,92  |
|               | high     | 0,999   | 0,999   | 0,027 | 0,99   | 0,99   | 0,027 |
|               | critical | 0,00061 | 0,00061 | 0,027 | 0,0075 | 0,0075 | 0,027 |

Эксперименттік зерттеулер барысында белгілер мен анықталған ауытқулар туралы ӘҚД жағдайында кибершабуылдардың салдарын бағалау үшін БЖ пайдалану негізінде деректерді талдау тапсырмаларында Bayesian\_Net ШҚҚЖ пайдалану мүмкіндігі расталды.

**Қорытынды.** Мақалада келесі нәтижелер алынды: БЖ негізінде деректерді талдау үшін әзірленген BAYESIAN\_NET ШҚҚЖ архитектурасы сипатталды. Ұсынылған ШҚҚЖ объектіге бағытталған бағдарламалауды қолданумен ерекшеленеді және икемді модульдік архитектураға ие. Бұл мәселелер осы саладағы зерттеулерді жалғастыруда маңызды фактор және КҚ саласындағы шешім қабылдауды қолдауды интеллектуализациялаумен байланысты болып табылады. Алынған нәтижелер деректерді іздеу мәселелерін шешу үшін, атап айтқанда АО КҚ-мен байланысты әлсіз құрылымдалған мәселелерді талдау және белгілер мен анықталған ауытқулар туралы ӘҚД жағдайындағы кибершабуылдардың салдарын бағалау үшін Bayesian\_Net ШҚҚЖ бағдарламалық өнімінің тиімділігін көрсетеді.

## ӘДЕБИЕТ

1 Berik, A., Valeriy, L., Yuliia, B., & Andrii, M. (2017). Разработка системы поддержки решений в слабо формализуемых задачах обеспечения кибербезопасности. Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 1(2 (85)).

2 Массель, А. Г., & Гасьева, Д. А. (2018). Методы и подходы к обеспечению кибербезопасности объектов цифровой энергетики. Энергетическая политика, (5), 62-72.

3 Авдошин, С. М., Лазаренко, А. В., Чичилева, Н. И., Наумов, П. А., & Ключарев, П. Г. (2019). Примеры использования машинного обучения в кибербезопасности. Труды Института системного программирования РАН, 31(5), 191-202.

4 Полтавцева, М. А., & Печенкин, А. И. (2017). Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений при тестировании на проникновение. Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы, (3), 62-69

5 Котенко, И. В. (2009). Интеллектуальные механизмы управления кибербезопасностью. Труды Института системного анализа Российской академии наук, 41, 74-103

6 Мирошник, М. А., Крылова, В. А., & Демичев, А. И. (2015). Применение интеллектуальной диагностической инфраструктуры для управления кибербезопасностью. Часть 1. Интеллектуализация механизмов защиты. Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті, (6), 25-32.

7 Xie, P., Li, J. H., Ou, X., Liu, P., & Levy, R. (2010, June). Using Bayesian networks for cyber security analysis. In 2010 IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems & Networks (DSN) (pp. 211-220). IEEE.

8 Chockalingam, S., Pieters, W., Teixeira, A., & van Gelder, P. (2017, November). Bayesian network models in cyber security: a systematic review. In *Nordic Conference on Secure IT Systems* (pp. 105-122). Springer, Cham.

9 Полтавцева, М. А., & Печенкин, А. И. (2017). Интеллектуальный анализ данных в системах поддержки принятия решений при тестировании на проникновение. *Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы*, (3), 62-69

10 Lakhno, V., Akhmetov, B., Ydyryshbayeva, M., Bebashko, B., Desiatko, A., & Khorolska, K. (2020, December). Models for Forming Knowledge Databases for Decision Support Systems for Recognizing Cyberattacks. In *International Conference on Intelligent Computing & Optimization* (pp. 463-475). Springer, Cham.

11 Akhmetov B.S., Lakhno V.A., Ydyryshbayeva M.B., Yagaliyeva B.E., Baiganova A.V., Akhanova M.B., Tashimova A.K. Application of bayesian networks in the decision support system during the analysis of cyber threats, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(4), pp. 884 - 893, 2021.

## REFERENCES

1 Razrabotka sistemy podderzhki reshenij v slabo formalizuemym zadachah obespecheniya kiberbezopasnosti. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tekhnologij*, 1(2 (85))]

2 Massel', A. G., & Gas'kova, D. A. (2018). Metody i podhody k obespecheniyu kiberbezopasnosti ob"ektov cifrovoj energetiki. *Energeticheskaya politika*, (5), 62-72.]

3 Avdoshin, S. M., Lazarenko, A. V., Chichileva, N. I., Naumov, P. A., & Klyucharev, P. G. (2019). Primery ispol'zovaniya mashinnogo obucheniya v kiberbezopasnosti. *Trudy Instituta sistemnogo programmirovaniya RAN*, 31(5), 191-202.]

4 Poltavceva, M. A., & Pechenkin, A. I. (2017). Intellektual'nyj analiz dannyh v sistemah podderzhki prinyatiya reshenij pri testirovanii na proniknovenie. *Problemy informacionnoj bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy*, (3), 62-69.]

5 Kotenko, I. V. (2009). Intellektual'nye mekhanizmy upravleniya kiberbezopasnost'yu. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossijskoj akademii nauk*, 41, 74-103.]

6 Miroshnik, M. A., Krylova, V. A., & Demichev, A. I. (2015). Primenenie intellektual'noj diagnosticheskoy infrastruktury dlya upravleniya kiberbezopasnost'yu. *CHast' 1. Intellektualizaciya mekhanizmov zashchity. Informacijno-keruyuchi sistemi na zaliznichnomu transporti*, (6), 25-32.]

7 Xie, P., Li, J. H., Ou, X., Liu, P., & Levy, R. (2010, June). Using Bayesian networks for cyber security analysis. In *2010 IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems & Networks (DSN)* (pp. 211-220). IEEE.

8 Chockalingam, S., Pieters, W., Teixeira, A., & van Gelder, P. (2017, November). Bayesian network models in cyber security: a systematic review. In *Nordic Conference on Secure IT Systems* (pp. 105-122). Springer, Cham.

9 Poltavceva, M. A., & Pechenkin, A. I. (2017). Intellektual'nyj analiz dannyh v sistemah podderzhki prinyatiya reshenij pri testirovanii na proniknovenie. *Problemy informacionnoj bezopasnosti. Komp'yuternye sistemy*, (3), 62-69.]

10 Lakhno, V., Akhmetov, B., Ydyryshbayeva, M., Bebashko, B., Desiatko, A., & Khorolska, K. (2020, December). Models for Forming Knowledge Databases for Decision Support Systems for Recognizing Cyberattacks. In *International Conference on Intelligent Computing & Optimization* (pp. 463-475). Springer, Cham.

11 Akhmetov B.S., Lakhno V.A., Ydyryshbayeva M.B., Yagaliyeva B.E., Baiganova A.V., Akhanova M.B., Tashimova A.K. Application of bayesian networks in the decision support system during the analysis of cyber threats, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(4), pp. 884 - 893, 2021.

**Б. С. АХМЕТОВ<sup>1</sup>, В. А. ЛАХНО<sup>2</sup>, М. Б. ЫДЫРЫШБАЕВА<sup>3</sup>,  
А. К. АБУОВА<sup>4</sup>, Ш. САГЫНДЫКОВА<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет имени Абая,  
Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Национальный университет биоресурсов и природопользования, г. Киев, Украина.

<sup>3</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Казахский университет путей сообщения, Алматы, Казахстан

<sup>5</sup>Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан

e-mail: bakhytzhana.akhmetov.54@mail.ru, valss21@ukr.net, moldir.ydyryshbaeva@gmail.com, abuova.akbala@mail.ru, Tomka2001@mail.ru

## **СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ КИБЕРАТАК**

Описана архитектура системы поддержки принятия решений (СППР) *Bayesian\_Net*, которая была разработана для анализа данных о признаках аномалий и кибератак на основе применения для этой задачи Байесовских сетей (БС). Предложенная СППР отличается применением объектно-ориентированного программирования и имеет модульную архитектуру. СППР *Bayesian\_Net* предназначена для решения задач интеллектуального анализа данных, в частности для анализа слабоструктурированных проблем, связанных с кибернетической безопасностью (КБ) объектов информатизации (ОБИ), и оценки последствий кибератак в условиях слабо структурированных данных о признаках и выявленных аномалиях.

**Ключевые слова:** Баесовская сеть, кибернетическая безопасность, система поддержки принятия решений, программный продукт.

**В. С. АХМЕТОВ<sup>1</sup>, В. А. ЛАХНО<sup>2</sup>, М. Б. ЫДЫРЫШБАЕВА<sup>3</sup>,  
А. АБУОВА<sup>4</sup>, Ш. САГЫНДЫКОВА<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>Kazakh University ways of Communications, Almaty, Kazakhstan

<sup>5</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunications, Almaty, Kazakhstan

e-mail: bakhytzhana.akhmetov.54@mail.ru, valss21@ukr.net, moldir.ydyryshbaeva@gmail.com, abuova.akbala@mail.ru, Tomka2001@mail.ru

## **DECISION SUPPORT SYSTEM FOR ASSESSING THE CONSEQUENCES OF CYBER ATTACKS**

The architecture of the *Bayesian\_Net* decision support system (DSS) is described, which was developed to analyze data on signs of anomalies and cyberattacks based on the use of Bayesian Networks (BN) for this task. The proposed DSS is distinguished by the use of object-oriented programming and has a modular architecture. The *Bayesian\_Net* DSS is designed to solve data mining problems, in particular, to analyze weakly structured problems related to cybernetic security (CS) of informatization objects (IO), and to assess the consequences of cyber attacks in conditions of weakly structured data on signs and detected anomalies.

**Keywords:** Bayesian network, cybernetic security, decision support system, software product.

**Д. О. ЖАКСЫБАЕВ**

*Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана,  
Уральск, Казахстан  
darhan.03.92@mail.ru*

## **РАЗМЕТКА КОЛЛЕКЦИИ ТЕКСТОВ КЛЮЧЕВЫМИ СЛОВАМИ – АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ**

*В статье представлены и обсуждаются результаты автоматического индексирования ключевых слов из 27 функциональных коллекций русскоязычных текстов трех функциональных стилей: научного, публицистического и художественного. Представлен подход к обработке результатов разметки, данные о согласованности экспертов. В зависимости от характера проблем проекта, задания на проектирование предусматривают автоматизированную систему идентификации документов и ключевых слов. Цель данного исследования - выявить проблемы модифицированной системы автоматического скоринга текста (САРТ) с ключевыми словами, провести детальный анализ результатов скоринга теста, чтобы создать условия для следующего дискурса. Эти функции составляют содержание одного из этапов исследования, направленного на создание эффективного алгоритма извлечения КС для русского языка.*

***Ключевые слова:** разметка теста, ключевые слова, процедура отбора.*

**Введение.** Чтобы измерить полезность алгоритмов извлечения ключевых слов (KW), их следует протестировать на том же корпусе специализированного текста (ТС), который ранее был определен KW. Для оценки эффективности применимости решений к англоязычным текстам можно выбрать из проверенных и выделенных ключевых слов ТС.

Цель данного исследования – выявить проблемы модифицированной системы автоматического скоринга текста (САРТ) с ключевыми словами, провести детальный анализ результатов разметки теста, чтобы создать условия для следующего дискурса. Эти функции составляют содержание одного из этапов исследования, направленного на создание эффективного алгоритма извлечения КС для русского языка, рисунок 1.

Требования в данном случае:

Разработка и экспертиза процедур отбора;

Разработка систем использования документов для копирования;

Определять организационные и технические проблемы при написании ключевых слов и разрабатывать стратегии их решения.

**Методология исследования и результаты.** При организации процесса разметки текстовых корпусов важно обратить внимание на различные методы, используемые учеными, а именно: выбор состава и количества текстовых модулей, форму и содержание первичной инструкции, состав и количество экспертов, состав и методы редактирования, интерпретации и представления результатов. Поэтому в исследование [Marujo et al., 2012] было включено большое количество пометок и использовались более эвристические методы для коррекции полученных





Рисунок 1 – Этапы исследования

результатов: набор КС с содержанием шумовых слов, более длинные КС (более 10 слов), более короткое время КС (менее 30 секунд) завершали задания экспертного отбора [1, с 144].

Для оценки корпуса DUC-2001 [Wan, Xiao, 2008] два студента старших курсов были выбраны респондентами и выставили оценки по следующим правилам: количество основных линий в тексте; все противоречия должны быть разрешены путем обсуждения. В результате среднее количество строк в тексте составило 8,08, а длина слова - 2,09 слова.

В общей сложности 1020 хроник хорватских новостных статей [Mijić et al., 2010] размечался семью учеными в соответствии с полными инструкциями. Ученые обсудили ряд соглашений и слияний, но сделали это независимо друг от друга. Набор из 60 примечаний, предоставленных всеми учеными, для ознакомления с уровнем соответствия между комментаторами. Оставшиеся 960 рукописей были разделены на 120 рукописей и описаны каждым из семи ученых. Основные положения трех экспертов, отобранных на этапе объединения, считались золотым стандартом.

Четыре раздела интервью на голландском языке (по 1000-2000 статей в каждом) были написаны 357 работающими участниками за денежное вознаграждение [Sterckx & s., 2018]. 26% статей были написаны восемью-десятью академиками. Каждый участник получил образец документа с инструкциями, видеоматериалы о процессе оценки и обновленные ПС.

Автоматизированное и аннотирование контента ключевыми словами необходимо для целенаправленных действий обучающихся, менеджеров и программно-аппаратных сообществ, ориентированных на разработку метаинформации – CS-описания для каждого элемента, рис. 2.

Ход разметки состоит из трех этапов. На первом этапе оценки CS выставляются напрямую, эксперты взаимодействуют с текстом в определенный момент времени, а в качестве альтернативы они основываются на оригинальной работе (инструкции), которая присваивает ключевые слова исходному тексту.

В процессе редактирования вычисляются промежуточные числа для операции тегирования, эксперты ранжируются по надежности и силе, и результат фиксируется: в документах CW, исключены дубликаты и ошибки в основных строках, ключевые фразы нормализуются, унифицируются и ранжируются [2, с 39].



**Рисунок 2** – Эффективный и интуитивно понятный способ регистрации разметки текста

Методы управления метками включают активное управление (обновление) метками (закон конфигурации и пользовательский опыт, параметры для распределения в базе данных) и планирование (остановка планирования проекта, монтаж конфигурации).

Работа САРТ основана на архитектуре клиент-сервер с использованием сервера IIS. Часть сервера размещена на C# в связи с сервером баз данных MS SQL, клиентская часть управляется технологией ASP.NET Razor, JavaScript и библиотекой jQuery.

В первом исследовании САРТ были проведены маломасштабные эксперименты по регрессии КС. Специалистам были предоставлены три проекта (определенные для использования сервиса), каждый из которых состоял из девяти шагов с тремя практическими этапами «Худломер»:

1) исторический, художественный и научный. В то же время различия между проектами заключаются в разных методах описания КС:

2. Введение КС вручную, используя любое слово или фразу без знаков препинания;

3. Комбинирование первого и второго методов. Пользователи могли выполнить все три задания по порядку, проигнорировать предыдущие тексты и вернуться обратно. Каждое задание начиналось с краткого описания, в котором намеренно опускалось слово «ключевое слово», его описание и стиль. Вместо этого ему предписывается выбирать слова (фразы) из описательного текста в контексте [3, с 555].

Для участия в исследовании мы использовали 24 пункта (включая работающих писателей) – русскоговорящих, в том числе 19 студентов 3-5 курсов университета, пять человек с высшим образованием. Исследование длилось 18 дней, а общая продолжительность программы пользователя САРТ составила 5 дней 12 часов.

В исследовательских целях на модельном тексте был рассчитан ряд количественных показателей – прежде всего, сила и энтропия частотного словаря, отражающие богатство художественного текста [Романишин, 2016], Маковецкая сложность, сте-



пень сжатия. Энтропия частотного словаря рассматривается как старая энтропия по всем элементам словаря:

$$H = \sum_{i=1}^n p_i H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1)$$

Здесь  $p_i$  – это умножение элемента  $e$  частотного словаря.

Частота частотных словарей рассчитывается по первым десяти элементам первых частотных элементов частотного словаря:

$$PP(W) = \sqrt[N]{\frac{1}{P(w_1 w_1 - w_n)}} \quad (2)$$

Где  $P$  - сумма объектов в словаре,  $N$  - количество объектов ( $N = 10$ ).

Исторические и научные тексты о сложности и энтропии частотного словаря неизбежны, рис. 3.

Полученные результаты можно объяснить ошибками в составлении текста модели маркера. Таким образом, научная и литературная система была предвзятым экономическим дискурсом, а журналистика – экспериментальным экспериментом.

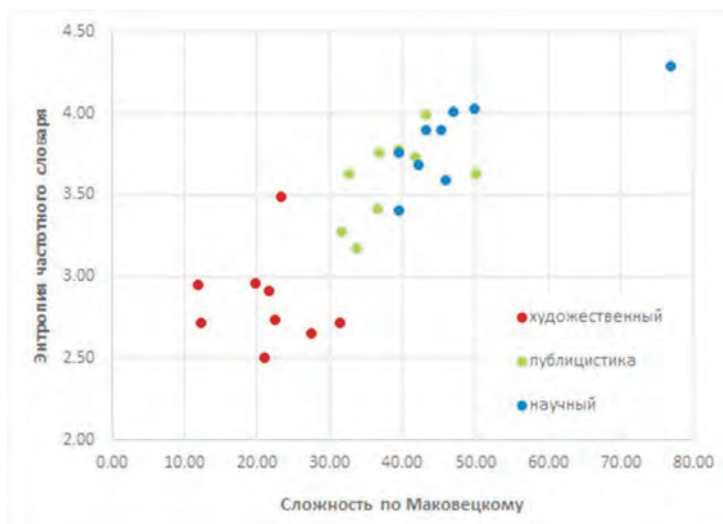


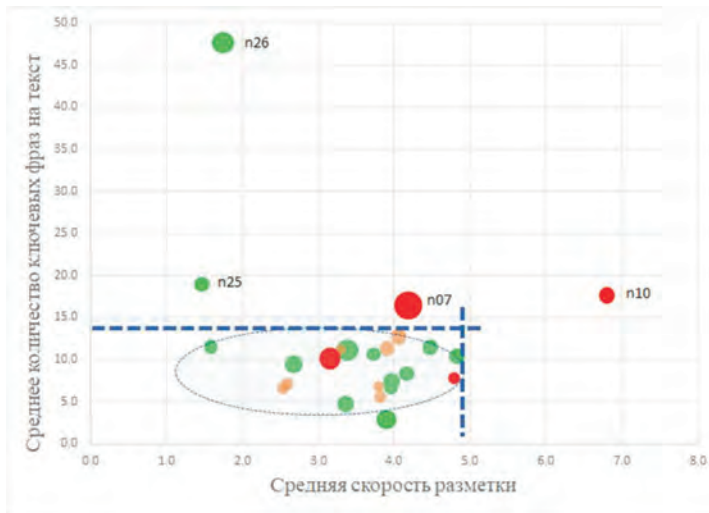
Рисунок 3 – Описание текста экспериментальной модели на диаграмме энтропия-сложность.

Предварительная обработка списка ключевых слов

В редактирование были включены речи, дублирующие термины (размер словаря 264 слова), ошибки исправления, найденные CW с помощью библиотеки Hunspell1 со встроенными словарями русского языка. Числа, рассчитанные по длине основных строк в тексте, затем использовались для выполнения заданий, количества КС для каждого слова.

Для того чтобы отфильтровать результаты маркировки «мусорных» систем, против каждого эксперта были использованы следующие показатели, рисунок 4 [4, с 399].

1. Сотни имен CS были исключены из оценки из-за двойной скорости чтения (зеленый - нет закономерности, коричневый – менее 10%, красный – более 10%);
2. средняя скорость маркировки слов в секунду (х-чтение);
3. Коэффициент вариации скорости разметки;
4. Среднее количество основных линий в тексте (порядковое чтение);
5. коэффициент разности сигналов предыдущего показателя (размер маркера).



**Рисунок 4** – Представление пользователей в соответствии с рядом критериев

Из рисунка видно, что для получения объективной информации необходимо учитывать уровень имеющихся навыков измерений и расчетов. Например, пользователь n26 значительно отличается по длине основных линий, но другие параметры находятся в нормальном диапазоне. Поэтому, помимо скорости и качества запасов, эксперты также сравнили тип показателей импортных КК:

1. средняя длина основной строки всего текста в словах ;
2. коэффициент вариации средней длины магистрали для всех записей;
3. Часть информации об остановке и стоп-сигналы, определенные в выбранном CW.

Кроме того, были созданы коллекции экспертов. Мы использовали два метода из библиотеки SCIKIT Python, которая стала стандартом де-факто в машинном обучении. Метод MeanShift использует алгоритм, основанный на центре, который вычисляет их по расположению в заданном пространстве. Нет необходимости определять количество компонентов, получаемых в результате применения этого метода. Метод Kmeans – это алгоритм кластеризации, который уменьшает важность инерции или разницы углов. Для этого алгоритма необходимо указать количество выходных узлов. Исследования показали, что все алгоритмы дают практически одинаковые результаты, а все эксперты делятся на 3 области, рисунок 5.

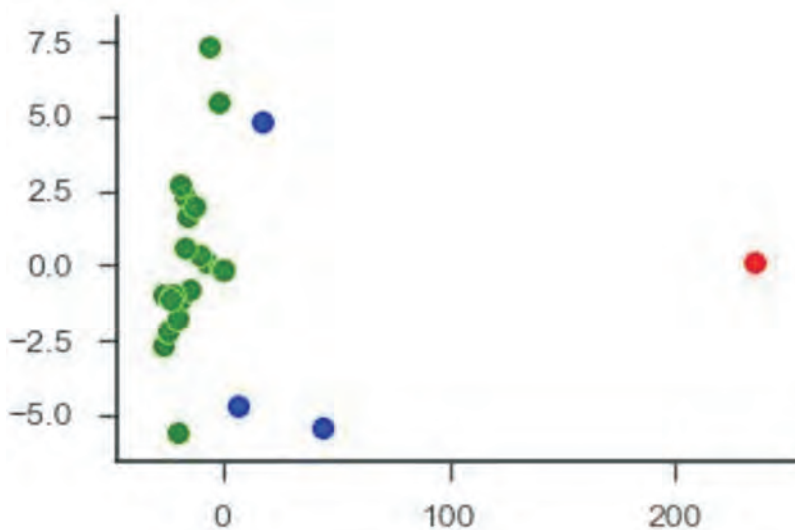


Рисунок 5 – Результаты экспертов по пулингу в двух основных категориях

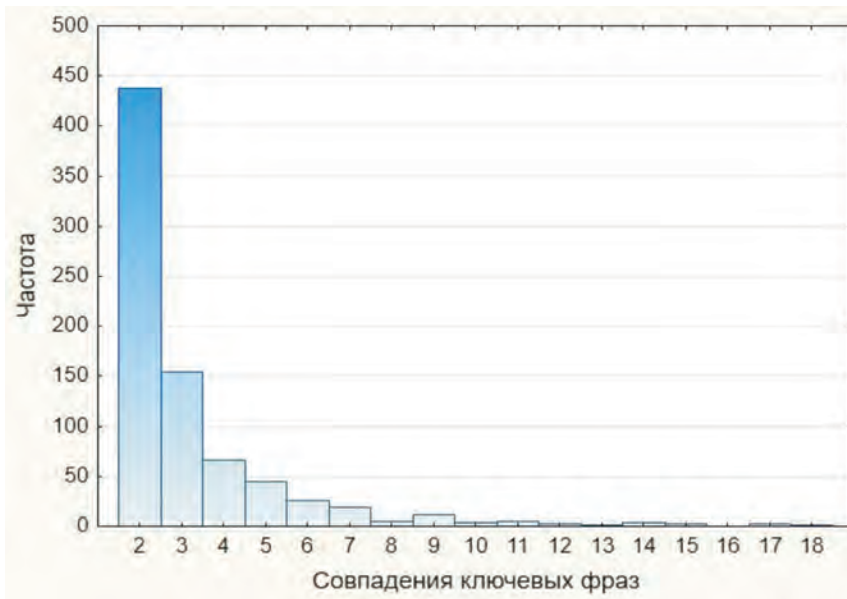
Группировка проводилась на исходных признаках без значительной предварительной обработки. Для наглядности использовался метод больших секций, и все компоненты рассчитывались в первых двух секциях. Следует отметить, что использование комбинации после применения метода главных компонент дало схожие результаты [5, с 60].

Основные положения фильтрации таковы: в отличие от больших кластеров меньшие кластеры на самом деле должны быть удалены из «мусорных» систем в первую очередь. Например, на рисунке 4 пользователь отмечен красным цветом. В этом случае внешний вид можно исправить, посмотрев и проанализировав его цифры. Поэтому при наличии большого количества экспертов и увеличении числа тестируемых статистических методов провести визуальный анализ не удастся. По этой причине планируется использовать кластерный анализ для осуществления автоматической фильтрации.

По результатам опроса результаты четырех участников были исключены без дальнейшего рассмотрения.

Для того чтобы использовать данные участников проекта (баллы CS), уровень согласия экспертов должен быть указан в утвержденных пределах, установленных конкретным исследованием, т.е. быть объективным [6, с 503].

Степень консенсуса среди экспертов может быть измерена различными способами [Artstein, Poesio, 2009], причем наиболее известный компонент - это % элементов, который предпочитают многие ученые. Средний показатель нестабильности ПС составил 6,7%, что является слабым показателем. Отметим, что проблема незначительных пробелов в выборе символов CS также важна для больших коллекций документов (более 1000 экземпляров) [Sterckx & s., 2018]. Гистограмма количества совпадений COP, выделенных из записей, показана на рисунке 6. Строки, написанные тем же пользователем, достигли 2056 элементов и не отображаются.



*Рисунок 6* – Подбор ключевых слов

**Результаты и выводы.** По результатам анализа можно выделить следующие показатели «хорошего» эксперта:

1. Стабильность и «вдумчивость» при чтении;
2. Размер описательного КС составляет 5-15 пунктов, а длина предложения не превышает пяти слов;
3. Предложения в описании КС устойчивы, отсутствуют знаки препинания (конверты, местоимения, предлоги).

В ходе исследования в качестве промежуточного результата были выявлены технические и организационные недостатки, и можно было разработать руководство для конкретной задачи: [7, с 855].

1) Экспертам необходимо дать организованную работу (формализованные задания), чтобы показать примеры.

2) Экспертам рекомендуется представить, как минимум, три учебных материала и первичного ранжирования, а также устранить результаты обучения (отсутствующие в существующем наборе данных);

3) Учитывать роль пользователя при рассмотрении времени, необходимого для маркировки;

4) Отображение слов из нетекстовых текстов, что кажется очень эргономичным и удобным для пользователей;

5) Трудно планировать работу эксперта без определенных финансовых ресурсов. Необходимо улучшить подход участника к мотивации и проинформировать провайдера о его текущем статусе (уровне уверенности);

6) По возможности, эксперты должны быть тщательно отобраны по количеству профессиональных групп, половому признаку, возраст и социальный статус;

7) Нужен инструмент для управления процессом рейтингования в режиме реального времени.

8) Оценка и продвинутые навыки высоко развиты, но вопрос о границах арифметического значения и профессиональных способностей требует отдельного изучения.

С учетом этого и в целях продолжения двуязычной работы готовится следующая версия SART. Предлагаются следующие функциональные изменения, рис. 9:

1. Обновление пользовательского интерфейса (в настоящее время доступен на русском и английском языках);

2. Установить ограничение по времени для мониторинга активности пользователя;

3. Создание регулярных выражений для проверки выбранных/назначенных слов;

4. Считывайте различную информацию о ходе работы маркера в режиме реального времени.

Применение технологии также было переработано - серверный компонент был перенесен на основной фреймворк .net, а клиентский компонент - на фреймворк Webix1. Требуется другая интерпретация речи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Вормсбехер В.Ф. 100 страниц в час / В.Ф Вормсбехер, В.А Кабин. – Кемерово: Кемеровское книжное издательство, 1980. – 144 с. [Vormsbeher V.F. 100 stranic v chas / V.F Vormsbeher, V.A Kabin. – Kemerovo: Kemerovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1980. – 144 с.]

2 Романишин Г.В. Исследование лексического богатства научных текстов / Г.В. Романишин // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. – 2016. – №. 19 – С. 39- 42. [Romanishin G.V. Issledovanie leksicheskogo bogatstva nauchnyh tekstov / G.V. Romanishin // Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannyh sistemah. – 2016. – №. 19 – S. 39- 42.]

3 Artstein R. Survey Article: Inter-Coder Agreement for Computational Linguistics / R. Artstein, M Poesio // Computational Linguistics. – 2009. – Vol. 34. – Iss 4. – pp. 555–596.

4 Marujo L. Supervised Topical Key Phrase Extraction of News Stories using Crowdsourcing / L. Marujo, A. Gershman, J.G. Carbonell, R.E Frederking, J.P. Neto // 8th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2012). – 2012. – pp. 399-403.

5 Mijić J. Robust Keyphrase Extraction For A Large-Scale Croatian News Production System / J. Mijić, J. Šnajder, B. Dalbelo Bašić // Proceedings of the Seventh International Conference on Formal Approaches to South Slavic and Balkan Languages. – 2010. – pp. 59–66.

6 Sterckx L. Creation and evaluation of large keyphrase extraction collections with multiple opinions / L. Sterckx, T. Demeester, J. Deleu and C. Develder // Language Resources and Evaluation. – 2018. – Vol. 52. – Iss 2. – pp. 503–532.

7 Wan X. Single Document Keyphrase Extraction Using Neighborhood Knowledge / X. Wan, J. Xiao // Proceedings of the Twenty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence. – 2008. – pp 855-860.

#### REFERENCES

1 Vormsbekher V.F. 100 stranic v chas / V.F Vormsbekher, V.A Kabin. – Kemerovo: Kemerovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1980. – 144 с. [Vormsbeher V.F. 100 stranic v chas / V.F Vormsbeher, V.A Kabin. – Kemerovo: Kemerovskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1980. – 144 с.]

2 Romanishin G.V. Issledovanie leksicheskogo bogatstva nauchnyh tekstov / G.V. Romanishin // Novye informacionnye tekhnologii v avtomatizirovannyh sistemah. – 2016. – №. 19 – S. 39-

42. [Romanishin G.V. Issledovanie leksicheskogo bogatstva nauchnykh tekstov / G.V. Romanishin // *Novye informacionnye tehnologii v avtomatizirovannykh sistemah.* – 2016. – №. 19 – S. 39- 42.]

3 Artstein R. Survey Article: Inter-Coder Agreement for Computational Linguistics / R. Artstein, M Poesio // *Computational Linguistics.* – 2009. – Vol. 34. – Iss 4. – pp. 555–596.

4 Marujo L. Supervised Topical Key Phrase Extraction of News Stories using Crowdsourcing / L. Marujo, A. Gershman, J.G. Carbonell, R.E Frederking, J.P. Neto // *8th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2012).* – 2012. – pp. 399-403.

5 Mijić J. Robust Keyphrase Extraction For A Large-Scale Croatian News Production System / J. Mijić, J. Šnajder, B. Dalbelo Bašić // *Proceedings of the Seventh International Conference on Formal Approaches to South Slavic and Balkan Languages.* – 2010. – pp. 59–66.

6 Sterckx L. Creation and evaluation of large keyphrase extraction collections with multiple opinions / L. Sterckx, T. Demeester, J. Deleu and C. Develder // *Language Resources and Evaluation.* – 2018. – Vol. 52. – Iss 2. – pp. 503–532.

7 Wan X. Single Document Keyphrase Extraction Using Neighborhood Knowledge / X. Wan, J. Xiao // *Proceedings of the Twenty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence.* – 2008. – pp 855-860.

**D. O. ZHAXYBAYEV**

*Zhangir khan West Kazakhstan Agrarian Technical University,  
Uralsk, Kazakhstan  
darhan.03.92@mail.ru*

### **MARKING A COLLECTION OF TEXTS WITH THE KEYWORDS – AUTOMATION ASPECTS**

*This article presents and discusses the results of automatic indexing of keywords in 27 functional collections of Russian texts in three functional styles: scholarly, journalistic and fiction. The approach to the processing of markup results is presented and the data on the consistency of experts are given. Depending on the nature of the project's problems, the design tasks provide for an automated system of document and keyword identification. The aim of this study is to identify the problems of a modified automatic text scoring system (CAPT) with keywords and to analyse in detail the results of the scoring test in order to create the conditions for the next discourse. These functions constitute the content of one of the research stages aimed at creating an effective algorithm for CS extraction for Russian language.*

**Keywords:** *test markup, keywords, selection procedure*

**Д. О. ЖАКСЫБАЕВ**

*Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті,  
Орал, Қазақстан  
darhan.03.92@mail.ru*

### **МӘТІНДЕР ЖИНАҒЫН КІЛТ СӨЗДЕРМЕН БЕЛГІЛЕУ – АВТОМАТТАНДЫРУ АСПЕКТІЛЕРІ**

*Мақалада үш функционалды стильдегі орыс тіліндегі мәтіндердің 27 функционалды топтама-сынан кілт сөздерді автоматты индекстеу нәтижелері ұсынылған және талқыланады: ғылыми,*

публицистикалық және көркем. Таңбалау нәтижелерін өңдеу тәсілі, сарапшылардың келісімділігі туралы мәліметтер ұсынылған. Жоба мәселелерінің сипатына байланысты жобалау тапсырмалары құжаттар мен кілт сөздерді сәйкестендірудің автоматтандырылған жүйесін қарастырады. Бұл зерттеудің мақсаты-өзгертілген мәтінді автоматты скоринг жүйесінің (САРТ) мәселелерін кілт сөздермен анықтау, келесі дискурсқа жағдай жасау үшін тест скорингінің нәтижелеріне егжей-тегжейлі талдау жүргізу. Бұл функциялар орыс тілі үшін КС алудың тиімді алгоритмін құруға бағытталған зерттеу кезеңдерінің бірінің мазмұнын құрайды.

**Түйін сөздер:** тестті белгілеу, кілт сөздер, іріктеу процедурасы.



*М. Р. ЖҰМАБЕК<sup>1\*</sup>, М. С. ТУНГАТАРОВА<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*Қаныш Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан*

## **ӘР ТҮРЛІ ТИПТІ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ЖЫЛУСАҚТАҒЫШТАРДЫҢ ЖЫЛУ ЭНЕРГИЯСЫН САҚТАУ ТИІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ**

*Қысқа мерзімді жылу сақтағыштар артық жылу энергиясын бірнеше сағат немесе бірнеше күн бойы сақтауға мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта жылыту және ыстық сумен қамтамасыз ету үшін көмір мен газ негізінде жұмыс істейтін жылу электр станцияларының тиімділігі төмен, ескірген және жылу жоғалту деңгейі жоғары болып табылады. Демек, ескірген және тиімділігі төмен жылу және электр станцияларының жүйелері арқылы энергияға деген сұранысты қамтамасыз ету үшін дәстүрлі энергия көздеріне жататын көмір немесе газ тәрізді қарқынды ластануына және адамдардың денсаулығына кері әсерін тигізуде.*

*Мақалада фазасы ауысатын материалды қолдану арқылы жылу энергиясын қысқа мерзімді сақтау барысында жүретін жылуалмасу процесстеріне зерттеулер жүргізілді. Қысқа мерзімді жылу сақтағыштарда қолдануға болатын фазасы ауысатын материал ретінде парафин қарастырылды. Парафиннің фаза алмасу процесінің сандық моделі құрастырылды. Жылу энергиясын жасырын сақтаудың негізгі тәсілдері зерттелінді. Жылу энергиясын сақтау үшін фазасы ауысатын парафинді күн энергиясын сақтау, ғимараттардағы ауаны кондиционерлеу және көп қабатты ғимараттарды, жылыжайларды жылыту, ыстық сумен жабдықтау сияқты көптеген салаларда қолдануға болады. Зерттелінген парафиннің бірнеше тәжірибелік маңыздылығы бар. Оларға парафиннің қолайлы фазалық ауысу температурасы, жоғары жасырын жылуы, жылдам жылу алмасуы, жоғары тығыздығы, көлемнің аз өзгеруі және жылу тұрақтылығы болып табылады. Парафин жанғыш емес материалдар қатарынан болып табылады, арзан бағада кездеседі, улы емес материал болғандықтан қоршаған ортаға зияны жоқ.*

***Түйін сөздер:** жасырын энергия, фазалық ауысу, Стефан есебі, фазалық ауысу жылдамдығы, парафин, жылжымалы тор әдісі, жылуды сақтау.*

**Кіріспе.** Энергия қазіргі уақытта ең маңызды ресурс болып табылады. Өткен ғасырларда жылу энергиясы қазбалы отынды жағу арқылы өндірілді. Энергияны тасымалдау, ауаның ластануы және жаһандық жылыну мәселелері жаңартылатын энергия көздерінің көбеюіне әкелді. Осы көздерден энергия үнемдеуге деген қызығушылық артып келеді, өйткені олар соңғы уақытта әлемдік энергия өндірісінің көп бөлігін өндіреді. Сол себепті қазіргі уақытта жылу энергияларын сақтау барысында тиімді тәсілдерді іздестіру ең маңызды жұмыс болып табылады. Осы жаңартылатын энергия көздерін алынған энергияны жылу сақтағыштарда жинайды [2]. Жылу сақтағыштардың қысқа және ұзақ мерзімді екі негізгі түрі бар. Ұзақ мерзімді жылу сақтағыштар маусымдық болып табылады. Мысалы, жазда жылуды сақтап, қыс мезгілінде қолдананылады. Ал қысқа мерзімді жылу сақтағыштар

---

\* E-mail корреспондирующего автора: marzhan190498@gmail.com



жылуды күндізгі уақытта жинап, кешкі қолданыс жоғары уақытта пайдаланылады. Ғимараттарда әдетте күн мен түн арасындағы температураның үлкен ауытқуы сезіледі. Бұл ғимарат тұрғындары үшін жайсыздықты ғана емес, сонымен қатар қысқа мерзімді жылусақтағыштарға деген сұраныс пен пайдаланудың арқасында ғимараттың энергия тұтынуының артуын тудырады [1]. Күн электр станцияларында және басқа өндірістік процесстерде жиі кездесетін мәселе - жылу энергиясын қол жетімділігі мен оны пайдалану кезеңі болып табылады. Бұл жағдай кейіннен пайдалану үшін артық жылуды сақтауға болатын тиімді әдіске қажеттілік туғызады [5]. Бұл мәселені шешудің тиімді шешімдерінің бірі - ғимараттарда жасырын жылу сақтау жүйелерін қолдану және енгізу арқылы температураның осы ауытқуын пассивті түрде азайту. Жылу энергиясын жасырын сақтау - бұл жылу энергиясын сақтаудың ең тиімді тәсілдерінің бірі. Оның көмегімен энергияны өндіру немесе қол жетімділік пен тұтыну арасындағы сәйкессіздіктерді түзетуге болады, осылайша шығындарды болдырмайды және процестің тиімділігін арттырады. Қысқа мерзімді жылусақтағыштарда жасырын жылуды сақтау үшін фазасы ауысатын материалды қолдану өте тиімді. Фазалық ауысу материалдары - бұл жылу көп болған кезде энергияны сақтап, үнемдейтін және қажет болған кезде оны шығаратын ерекше қабілетке ие материалдар [6].

Зерттеу объектісі ретінде қысқа мерзімді жылусақтағыштарда қолдануға болатын фазасы ауысатын материал – парафин алынды.

Жұмыстың мақсаты: фазасы ауысатын материалды қолдану арқылы жылу энергиясын қысқа мерзімді сақтау барысында жүретін жылуалмасу процесстерін зерттеу. Парафиннің фаза алмасу процесінің сандық моделін құру. Жылу энергиясын жасырын сақтаудың негізгі тәсілдерін зерттеу.

**Есептің қойылымы.** Қысқа мерзімді жылусақтағыштарда жылуды сақтау үшін фазасы ауысатын материалдар қажет. Сол себепті фазасы ауысатын материал парафин қарастырылған. Парафин жоғары жылу сақтау қасиетіне ие. COMSOL Multiphysics бағдарламасында сандық модельдеуді жүзеге асыру үшін фазасы ауысатын материал парафині бар екі өлшемді уақытқа тәуелді қорап қабырғаларының моделі жасалды. Есептің қойылымы 1 - суретте көрсетілген. Төртбұрышты жазықтықтың қабырғасы 10 см болатын квадрат түрінде алынған. Сол жақ қабырғасына ыстық температураны береміз, 330 К. Оң жақ қабырғасына салқын температураны береміз, 320 К. Төртбұрышты жазықтықтың арасына фаза ауысу шекарасын береміз. Оның температурасы парафиннің балқу температурасына сәйкес келеді, яғни 323 К. Қалған үстіңгі және астыңғы қабырғалары жылудан оқшауланған. Егер дененің бөліктерінің температурасы әртүрлі болса, онда денеден жылу алмасу дененің қыздырылған бөлігінен аз қызған бөлігіне қарай жүреді. Берілген есепте парафиннің еру процесінің сандық визуализациясын көрсетілген. Және фаза ауысу шекарасының уақыт өте қалай орын ауыстыратынын көруге болады. Бұл зерттеуде фазалық ауысу материалын қолдана отырып, жылу беруді сандық модельдеуге қатысты маңызды ұсыныстар көрсетілген.



1-сурет – Есептің қойылымы

**Зерттеу әдістері және материалдары.** Жылу энергиясын сақтау үшін фазалық ауысу материалдарын қолдану күн энергиясын сақтау, пайдаланылған жылуды қалпына келтіру сияқты көптеген салаларда танымал. Ғимараттарды жылыту және салқындату үшін фазасы ауысатын материалдарды алдын-ала таңдау кезінде оның фазалық ауысуының қолайлы температурасына, жоғары жасырын жылуына, жоғары жылу беру, жоғары тығыздық, көлемнің шамалы өзгеруі және жылу тұрақтылығына, химиялық, экономикалық қасиеттеріне көңіл бөлу қажет. Жасырын жылуды жинақтау технологиясы температураның ауытқуын төмендетеді және көлем, масса негізінде жоғары жылу жинақтау қабілетін қамтамасыз етеді. Сақталған энергияның температурасы мен мөлшерін фазаны өзгерту үшін белгілі бір материалды таңдау арқылы реттеуге болады. Парафин дәл сондай қасиеттерге ия. Яғни, қажетті жұмыс температурасының диапазонындағы балқу температурасы, бірлік көлеміндегі жоғары жасырын балқу жылуы, жоғары меншікті жылу сыйымдылығы, тығыздығы және жылу өткізгіштігі, берілген температурада фаза өзгерген кезде парафин көлемі мен қысымының аз өзгеруі, коррозияға ұшырамайды, улы емес, жанбайды және жарылғыш емес, ең маңыздысы арзан және қол жетімді [3].

Төмендегі көрсетілген 1-кестеде сандық модельдеу үшін қолданылатын парафиннің термодинамикалық қасиеттері көрсетілген [10].

1-кесте – Парафиннің термодинамикалық қасиеттері

| Материал | $\rho_l$<br>кг/м <sup>3</sup> | $\rho_s$<br>кг/м <sup>3</sup> | $k$<br>Вт/м·К | $\nu$<br>м <sup>2</sup> /с | $C_{pl}$<br>Дж/(кг·К) | $C_{ps}$<br>Дж/(кг·К) | $L$<br>кДж/кг |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| Парафин  | 769                           | 900                           | 2,1           | 8,78                       | 3000                  | 2890                  | 218           |

Парафин температурасының өзгеруімен оның физикалық күйі өзгереді, қатты денеден сұйық денеге айналады. Бұл жағдайда әрдайым фазалық ауысу бетінде тұрақты температура сақталады. Фазалық ауысудың беті қозғалғанда балқудың жасырын жылуы бөлінеді. Фазалық ауысу процесін сипаттайтын математикалық модель жылжымалы шекара мәселесі немесе Стефан есебі болып табылады. Ол фазалар арасындағы шекарасының орны уақыт өте өзгертін заттың фазалық өзгеруін сипат-

тайды. Материалдың әр фазасында энергияның берілуі жылу өткізгіштік теңдеуімен сипатталады [9],[11].

Қатты және сұйық фазалар үшін жылу өткізгіштік теңдеулері келесі түрде жазылады:

$$\rho_s C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p v \cdot \nabla T + \nabla q = 0 \quad (1)$$

Мұндағы  $\rho$ ,  $C_p$ ,  $k$  сәйкесінше парафиннің фазасына, яғни қатты немесе сұйық күйіне сәйкес тығыздығы, меншікті жылу сыйымдылығы және жылу өткізгіштік коэффициенттері.

Стефан есебіне қойылатын негізгі шарттар [12]:

1) Фазаның өзгеру барысындағы, яғни қатты күйден сұйық күйге ауысуы барысындағы энергия теңгерімі арқылы алынған фаза шекарасының жылдамдығы.

$$v = - \frac{k_s \frac{\partial T_s}{\partial n} - k_l \frac{\partial T_l}{\partial n}}{\rho L} = - \frac{q}{\rho_s L_{s \rightarrow l}} \quad (2)$$

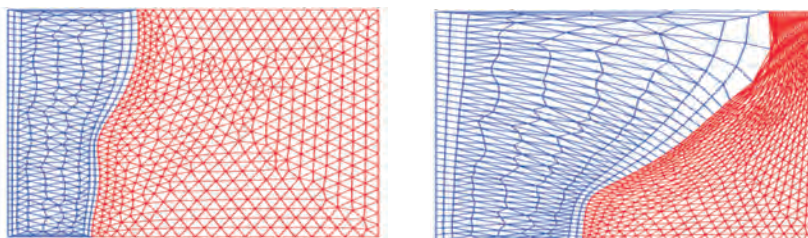
Мұндағы  $L$  – балқудың жасырын жылуы,  $k_s$ ,  $k_l$  сәйкесінше қатты парафин мен сұйық парафиннің жылу өткізгіштік коэффициенттері,  $q$  – жылу мөлшері,  $v$  – фаза шекарасының жылдамдығы.

2) Фазалық шекарада зат бөлшектерінің температуралары фазалық ауысу температурасына тең.

$$T_l = T_s = T_{1 \rightarrow 2} \quad (3)$$

Мұндағы  $T_p$ ,  $T_s$ ,  $T_{1 \rightarrow 2}$ , сәйкесінше парафиннің сұйық, қатты күйіндегі, балқу температурасы немесе бір күйден екінші күйге өту температуралары.

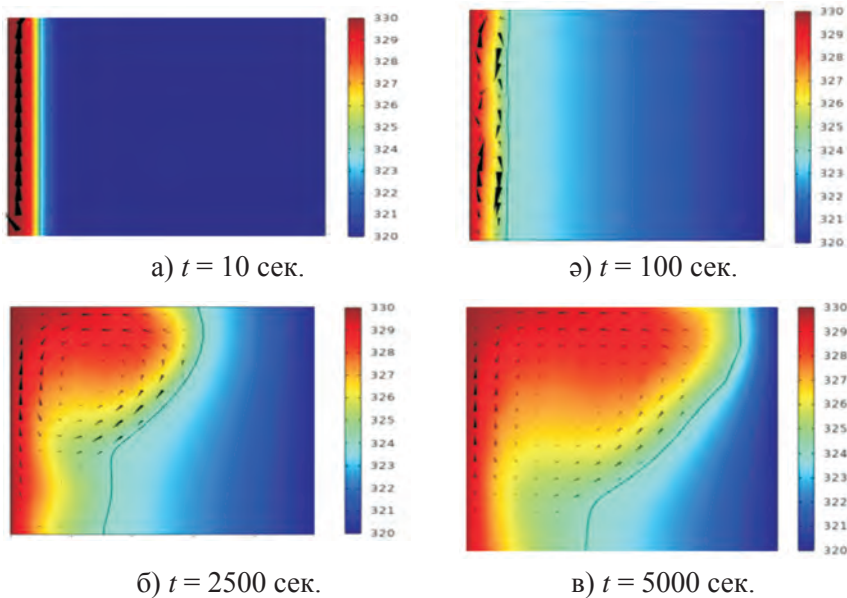
**Талқылау және нәтижелер.** Есептің негізгі моделі COMSOL Multiphysics бағдарламалық пакетінде жүргізілді. Бұл программада жұмыс істеу барысында ең алдымен есепке арналған физиканы таңдауымыз қажет. Жанасқан жылу беру (Conjugate heat transfer) физикасын таңдаймыз. Жанасқан жылу беру қатты денелердегі жылу алмасу мен сұйықтықтардағы жылу алмасу үйлесіміне сәйкес келеді. Өткізгіштік көбінесе қатты денелерде, ал конвекция әдетте сұйықтықтарда басым болады.



2-сурет – Деформацияланған геометрия интерфейсі

2-суретте парафиннің геометриясының өзгеруіне байланысты, еру процесі қалай жүретіндігі көрсетілген. Бөлінген торлардың орын ауыстыру барысында, фаза ауысу шекарасының өзгерісін байқалады. Деформацияланған геометрия интерфейсі

(Deformed geometry) арқылы параметрлерге байланысты геометрия өзгерген кезде физиканың қалай өзгеретінін зерттеуге болады. Оның көмегімен сыртқы геометрияның өзгеруіне байланысты тормен ұсынылған геометрия өзгерген кезде физика қалай өзгеретінін зерттеуге болады.



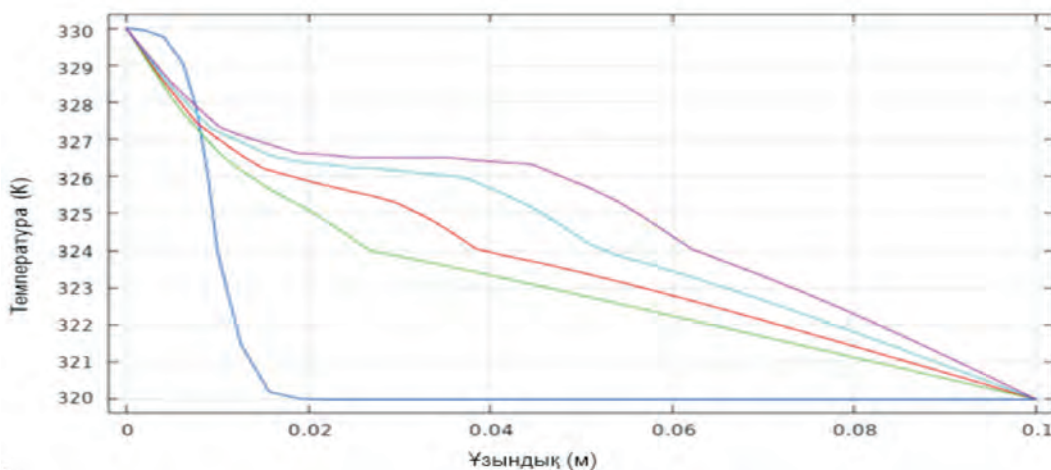
3-сурет – Парафиннің еру кезіндегі температура таралуы

Сұйықтықтың қозғалысын еркін конвекция ретінде қарастырамыз. Конвекция дегеніміз әртүрлі қыздырылған бөлшектердің ауырлық күші өрісіндегі сұйықтықтарда немесе газдарда тасымалдануы. Конвекция арқылы жылу алмасу қозғалатын материал бөлшектері арқылы жүзеге асырылады. Еркін конвекция сұйықтықтың біркелкі қызбайтын гравитациялық өрісінде пайда болады. Еркін конвективті ағындар гравитациялық күштер өрісіндегі жылу немесе масса алмасу процестерінен туындаған тығыздықтың өзгеруі нәтижесінде пайда болады. 3-суретте температура өрісінің таралуын көруге болады. Сол қабырғаны қыздыра бастағанда парафиннің еру процесін көреміз.

Бастапқы  $t = 10$  секунд уақытта парафин ақырын ери бастайды. Келесі  $t = 100$  секунд кезінде конвекция пайда бола бастағанын көруге болады. Одан кейін сұйықтықтағы еркін конвекция әсерінен заттың қозғалысы, яғни еру процесі температура айырмашылығы және оның әсерінен болатын тығыздықтың айырмашылығына байланысты жүретіндігін көреміз. Тығыздықтың айырмашылығы итеру күшін тудырады, оның әсерінен ағын пайда болады.  $t = 2500$  секунд кезінде Архимед күшінің әсерінен парафиннің еріген сұйық бөлігінен аз еріген қатты бөлігіне қарай ауырлық күшіне қарсы бағытта қозғалады. Осы еркін конвекция әсерінен бірінші парафиннің үсті жағы, содан кейін ауырлық күші әсерінен төмен жағы ери бастайды. Соңғы  $t = 5000$  секунд кезінде парафиннің ерігенін көруге болады. Фаза ауысу шекарасы

оң қабырғаға дейін толығымен жетпейді, себебі сол жақ қабырғаға 330 К, ал оң жақ қабырғаға 320 К берілген. Сол себепті 5000 секундқа келгенде қысым тепеңдікке келеді.

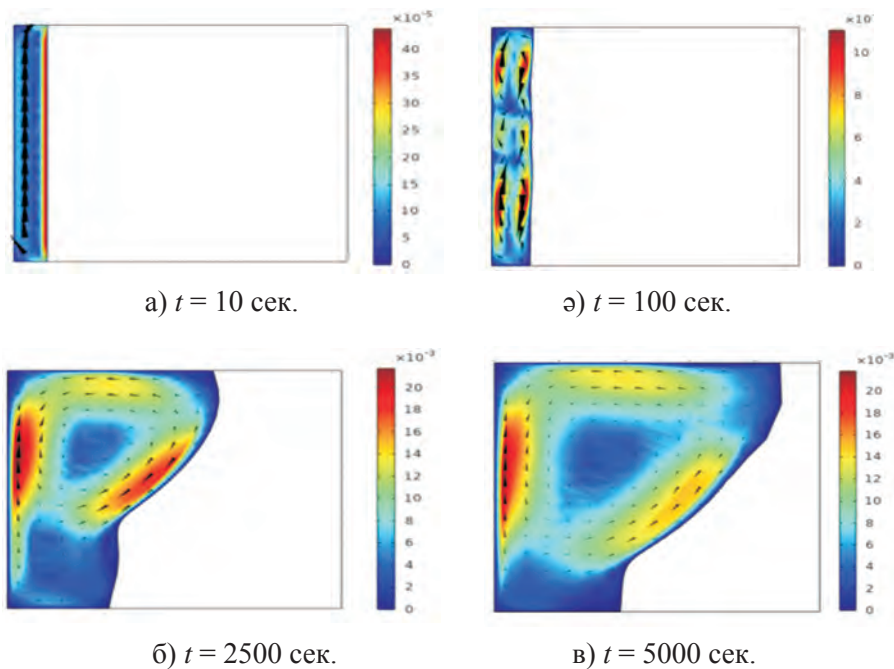
4-суретте парафиннің еруі кезіндегі температураның өзгеру графигі көрсетілген. Графикте еріту процесі басталған уақытта, конвекция басталған уақыттар мен соңғы еріген процесінің температураларына сәйкес келетін сызықтар көрсетілген. Сол жақ қабырға 330 К, сәйкесінше ыстық температура, ал сол жақ қабырға суық қабырғаға сәйкес 320 К температура. Ал парафиннің ортасында еру процесі жүрген кездегі температураның таралу, өзгеру аймағы. Еріген парафиннің біркелкі қызбайтын гравитациялық өрісінде пайда болатын конвекцияның әсерінен қатты және сұйық фазаларының шекарасы уақыт өткен сайын орны ауыса бастайды. Біркелкі қызбайтын гравитациялық өрісінде пайда болған еркін конвекция әсерінен 323 К де парафин ериді. Ал әлі ерімеген бөлігі суық температура 320 К сәйкес екендігін көруге болады.



4-сурет – Температураның өзгеру графигі

(2) - (3) шарттарды, яғни Стефанның шарттарын парафиннің екі фазасы арасындағы фаза ауысу жылдамдығы мен интерфейстің орнын анықтау үшін пайдаланамыз. Парафиннің фаза ауысуы кезінде фазаға сәйкес көлемі мен жалпы ішкі энергиясы өзгереді. Бұл өзгеріс әрдайым белгілі бір шекті жылдамдықпен жүреді, демек, тығыздықтағы немесе меншікті ішкі энергиядағы барлық алшақтықты алыстату үшін бізге белгілі бір шекті уақыт қажет. Осы уақыт ішінде фазалық ауысу заттың бүкіл көлемінде бірден пайда болмайды, бірақ біртіндеп жүреді. Бұл жағдайда бірінші ретті фазалық ауысу кезінде энергияның белгілі бір мөлшері бөлінеді, оны фазалық ауысудың жылуы немесе жасырын жылу деп атайды.





5-сурет – Парафиннің фаза ауысу шекарасының жылдамдығың өзгерісі

5-суретте парафин еруі кезіндегі фаза шекарасының ауысу жылдамдығының өзгеруі көрсетілген. 5-суреттегі а, ә, б, в пунктерінен парафиннің уақыт өте келе қандай жылдамдықпен өзгертінін көруге болады. Фаза ауысу шекарасының жылдамдығын (2) формула арқылы есептелінеді. Суреттің а пунктінен  $t = 10$  секунд болған кездегі парафин аз жылдамдықпен біркелкі ери бастайды. Келесі  $t = 100, 2500, 5000$  секунд кездерінде конвекция және Архимед күшінің әсерінен алдымен жоғарғы бөлігі, содан кейін төменгі бөлігі ери бастайды. Келесі  $t=5000$  секунд кезінде парафиннің еріп, қысым тепе-теңдікке келгенін көруге болады.

**Қорытынды.** Жүргізілген зерттеулер негізінде мынадай тұжырымдар жасалынды. Парафиннің еру процесін модельдеу үшін Comsol Multiphysics бағдарламасында математикалық модель құрастырылды. Парафиннің еру процесі барысында фаза ауысу шекарасының орын ауысуы мен жылдамдықтың өзгеруінің визуализациялары көрсетілді. COMSOL Multiphysics-те сандық модельдеуді жүзеге асыру үшін фазасы ауысатын материал парафин қарастырылды. Деформацияланған геометрия интерфейсі қолдану арқылы есептеу аймағында тормен ұсынылған геометриясы өзгерген кезде оның физикасы қалай өзгертіндігі көрсетілген. Еріген парафинде пайда болатын еркін конвекцияның әсерінен гравитациялық күштер өрісіндегі жылу немесе масса алмасу процестері қалай өтетіндігін қарастырылды.

Парафиннің фаза ауысу кезінде, кейіннен пайдалану үшін көп мөлшерде жылу энергиясын сіңіреді. Бұл фазалық ауысу кезіндегі жылу энергиясын жасырын сақтау - жылу энергиясын сақтаудың ең тиімді тәсілдерінің бірі. Оның көмегімен энергияны өндіру немесе қол жетімділік пен тұтыну арасындағы сәйкессіздіктерді түзетуге бо-



лады, осылайша шығындарды болдырмайды және процестің тиімділігін арттырады. Парафиннің жылу сыйымдылығы өте көп болғандықтан, ол жылуды басқа фазасы ауысатын материалдарға қарағанда 30% көбірек сақтайды. Сол себепті қысқа мерзімді жылу сақтағыштарда жылуды сақтау үшін фазасы ауысатын материал парафинді қолданған дұрыс. Парафиннің еру кезіндегі пайда болатын жасырын жылудың сақталынуы сандық түрде зерттелінді.

## ӘДЕБИЕТ

- 1 Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen. Thermal energy storage: systems and applications /– 2nd ed. – 1964. - P. 83-187.
- 2 Elsevier Sequoia S.A. Short Term Thermal Energy Storage. Energy and Buildings. – 1981. –P. 49 – 76.
- 3 Mirosław Zukowski. Experimental study of short term thermal energy storage unit based on enclosed phase change material in polyethylene film bag. // Department of Heat Engineering, Białystok. Technical University. – 2006.
- 4 Robert A. Huggins Energy Storage. Springer Science Business Media. - 2010. – P. 21-27.
- 5 Yasar Demirel. Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling. Springer International Publishing. Verlag London Limited. – 2012. – P. 308-323.
- 6 A. Abhat. Short term thermal energy storage. Revue de Physique Applique. – 15(3). – 1980. – P. 477-501.
- 7 Johan Heier. Energy Efficiency through Thermal Energy Storage. – 2013.
- 8 Dutil Y. Rousse, D. R. Salah, N. B. Lassue, S. Zalewski, L. 2011. A review on phase-change materials: Mathematical modeling and simulations. Renewable and Sustainable Energy Reviews. – V. 15. – P. 112-130.
- 9 Theodore L. Bergman. Adrienne S. Lavine. Frank P. Incropera. David P. Dewitt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. – USA: John Wiley & Sons. – 2011. – № 7.
- 10 Аймбетова И.О., Сулейменов У.С., Камбаров М.А., Калшабекова Э.Н., Риставлетов Р.А. Теплофизические свойства фазопереходных теплоаккумулирующих материалов, применяемых в строительстве // Успехи Современного Естествознания. – 2018. – № 12-1. – С. 9-13.
- 11 M. Fremond, Jose Francisco Rodrigue. Mathematical Models for Phase Change Problems. International Series of Numerical Mathematics 88. Birkhauser Basel. – 1989. –P. 129-260.
- 12 Данилюк И. И. О задаче Стефана // Успехи математических наук. – 1983. – № 5. – С. 133-185.

## REFERENCES

- 1 Ibrahim Dincer, Marc A. Rosen. Thermal energy storage: systems and applications /– 2nd ed. – 1964. - P. 83-187.
- 2 Elsevier Sequoia S.A. Short Term Thermal Energy Storage. Energy and Buildings. – 1981. –P. 49 – 76.
- 3 Mirosław Zukowski. Experimental study of short term thermal energy storage unit based on enclosed phase change material in polyethylene film bag. // Department of Heat Engineering, Białystok. Technical University. – 2006.
- 4 Robert A. Huggins Energy Storage. Springer Science Business Media. - 2010. – P.21-27.
- 5 Yasar Demirel. Energy Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling. Springer International Publishing. Verlag London Limited. – 2012. – P. 308-323.

6 A. Abhat. Short term thermal energy storage. *Revue de Physique Applique.* – 15(3). – 1980. – P. 477-501.

7 Johan Heier. Energy Efficiency through Thermal Energy Storage. – 2013.

8 Dutil, Y., Rousse, D. R., Salah, N. B., Lassue, S. & Zalewski, L. 2011. A review on phase-change materials: Mathematical modeling and simulations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* – V. 15. – P. 112-130.

9 Theodore L. Bergman. Adrienne S. Lavine. Frank P. Incropera. David P. Dewitt. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer.* – USA: John Wiley & Sons. – 2011. – № 7.

10 Ajmbetova I.O., Sulejmenov U.S., Kambarov M.A., Kalshabekova Je.N., Ristavletov R.A. *Teplofizicheskie svojstva fazoperehodnyh teploakkumulirujushhij materialov, primenjaemyh v stroitel'stve // Uspehi Sovremennogo Estestvoznanija.* – 2018. – № 12-1. – S. 9-13.

11 M. Fremond, Jose Francisco Rodrigue. *Mathematical Models for Phase Change Problems.* International Series of Numerical Mathematics 88. Birkhauser Basel. – 1989. – P. 129-260.

12 Daniljuk I. I. O zadache Stefana // *Uspehi matematicheskijh nauk.* – 1983. – №5. – С.133-185.

**М. Р. ЖУМАБЕК<sup>1</sup>, М. С. ТУНГАТАРОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup>*Казахский национальный исследовательский технический университет*

*имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*

*e-mail: marzhan190498@gmail.com*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХРАНЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ КРАТКОВРЕМЕННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ**

*Кратковременные теплообменники позволяют хранить избыточную тепловую энергию в течение нескольких часов или дней. В настоящее время угольные и газовые тепловые электростанции для отопления и горячего водоснабжения неэффективны, устарели и имеют высокие потери тепла. Поэтому высокое потребление угля и газа, относящихся к традиционным источникам энергии для отопления, привело к сильному загрязнению окружающей среды, серьезным проблемам в экологии и здравоохранении.*

*В статье проведены исследования процессов теплообмена при кратковременном хранении тепловой энергии с использованием фазопереходного материала. В качестве фазопереходного материала, который можно использовать в кратковременных теплоносителях рассматривался парафин. Показана численная модель процесса фазообмена парафина. Изучены основные способы скрытого хранения тепловой энергии. Парафин с фазовым переходом для хранения тепловой энергии может быть использован во многих областях, таких как хранение солнечной энергии, кондиционирование воздуха в зданиях, отопление многоэтажных зданий, теплиц и горячее водоснабжение. Исследуемый парафин имеет несколько практических значений. К ним относятся температура фазового перехода парафина, высокая скрытая теплота, быстрая теплопередача, высокая плотность, небольшое изменение объема и термическая стабильность. Парафин относится к числу негорючих материалов, встречается по низкой цене, является экологически чистыми благодаря нетоксичности материала.*

**Ключевые слова:** *скрытая энергия, фазовый переход, задача Стефана, скорость фазового перехода, парафин, метод подвижной сетки, хранение тепловой энергии.*

**M. R. ZHUMABEK<sup>1</sup>, M. S. TUNGATAROVA<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

*<sup>2</sup>Kazakh National Technical University after K.I.Satpayev, Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: marzhan190498@gmail.com*

## **STUDY OF THE EFFICIENCY OF THERMAL ENERGY STORAGE IN VARIOUS TYPES OF SHORT – TERM THERMAL ENERGY STORAGE**

*Short-term thermal energy storages allow excess heat energy to be stored for a few hours or days. Currently, coal and gas-fired thermal power plants for heating and hot water are inefficient, obsolete and have high heat losses. Therefore, the high consumption of coal and gas, which are the traditional energy sources for heating, has led to severe environmental pollution and serious environmental and health problems.*

*In this article the heat exchange processes of short-term storage of thermal energy using phase-transition material were investigated. Paraffin was considered as a phase-transition material that can be used in short-term thermal energy storages. A numerical model of the phase change process of paraffin is shown. The basic methods of latent heat energy storage were studied. Phase change paraffin for thermal energy storage can be used in many applications such as solar energy storage, air conditioning in buildings, heating of multi-storey buildings, greenhouses and hot water supply. The paraffin wax under study has several practical values. These include the phase transition temperature of paraffin, high latent heat, fast heat transfer, high density, small volume change and thermal stability. Paraffin is one of the non-combustible materials, can be found at low cost and is environmentally friendly due to the non-toxicity of the material.*

**Key words:** *latent heat, phase transition, Stefan problem, phase transition velocity, paraffin, moving grid method, thermal energy storage.*

CH. KENSHIMOV<sup>1</sup>, T. R. SUNDETOV<sup>1\*</sup>, M. M. KUNELBAYEV<sup>1,2</sup>,  
S. SH. IXANOV<sup>2</sup>, M. MANSUROVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK,*

<sup>2</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

## DEVELOPMENT OF THE SUPPLY SYSTEM, CONTROL ALGORITHM AND ARCHITECTURE OF VERBAL ROBOT

*This work is supported by grant from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan within the framework of the Work №AP08053034 «Development of new methods for modeling and recognition of Kazakh sign language», Institute Information and Computational Technologies CS MES RK. This article reviews the supply system, control algorithm and architecture of verbal robot. The robot is based on publicly available 3D printer. In this research was developed architecture of general programme system of verbal robot, also improved supply system and control algorithm of overall system. Using Jetson Tx1 equipment and a touch screen for interaction with InMoov, an interface was made to control the entire system. The Kinect detector plays a major role in the process of studying this topic. Compared with the existing humanoid robots, the verbal robot is highly automated platform, low cost and fully functional.*

**Key words:** *Verbal robot; Power system; Control algorithm; Architectura; Jetson tx1.*

**Introduction.** Humanoid robots have a human-like design and are able to imitate human movements [1]. Among humanoid robots with double manipulators and dexterous hands, maintenance is of great importance. They can provide with companion, operation, manipulation, material handling and many other services to people. Research into humanoid robots is always the most active field in intelligent robotics and many large scientific research institutions. Many humanoid robots have been built over the past few years, such as ASIMO [2,3b4], HPR [5], WABIANRV [6], NAO [7,8,9] and the latest robot [10] [11]. The current humanoid robots are either too expensive or too clumsy. There is a trade-off between robot flexibility and expenses. This is a huge obstacle blocking the path of a humanoid robot to our daily life. Some humanoid robots have partial human functions, most humanoid robots do not have human-like appearances. Some humanoid robots are made of metal, steel or aluminum, which are too heavy as in the example of the CALUMA robot [12]. To interact with humans flexibly, robots need a lightweight structure to accommodate their configuration and be energy efficient [13]. The heavy component of a humanoid robot needs powerful consumption, and a decrease in battery duration. And besides, tough materials also bring potential to people, since there are no shock absorbing devices. We can also produce humanoid robots with plastic material, but this is economical and reasonable only in mass production. 3D printing is a rapidly developing technology in recent years [14]. Thanks to 3D printing technology, it is possible to bring an idea from a virtual to a real prototype very quickly. Some humanoid robots like Flobi [15] and iCub [16] are taking advantage of 3D printing. Based on the flexibility of 3D printing, a humanoid robot can be assigned with a vibrant human-like appearance. Also commonly used printing materials such as

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [sundetovtalgat@gmail.com](mailto:sundetovtalgat@gmail.com)

PLA or ABS are inexpensive and can significantly reduce overall manufacturing cost and time. Moreover, 3D printing is economical and environmentally friendly. Some 3D printing materials like PLA are biodegradable and the strength of the materials is sufficient for a humanoid robot. Robot components made from 3D printing are lighter and more resilient, i.e. the robot can be easy and very easy to move.

**Research methodology and results.** Figure 1a, b shows a diagram of the developed 3D printed inexpensive verbal robot. The height of the robot is approximately 170 cm, which is similar to the normal height of an adult. This robot consists of two parts: the 3D printed front of the verbal robot, the 3D printed back of the verbal robot and the mobile base. The mobile base is made of iron and is driven by three 750 W motors. For a life-size verbal robot with strong mobility, this is very cost effective.

As shown in Table 1, the verbal robot has 50 degrees of latitude, 27 motors, 25 servos with different loads and 3 center motors, specially designed for the electrical control of the 24V system, a 16Ah lithium battery pack is installed in the mobile base, and provides all the electrical operation of the robot.

**Table 1** – Degrees of freedom of verbal robot

| Part                | Degree of freedom | Motors |
|---------------------|-------------------|--------|
| Right and left hand | 30                | 10     |
| Wrist               | 2                 | 2      |
| Elbow               | 2                 | 2      |
| Shoulder            | 6                 | 6      |
| Head                | 3                 | 3      |
| Waist               | 1                 | 2      |
| Mobile base         | 6                 | 3      |

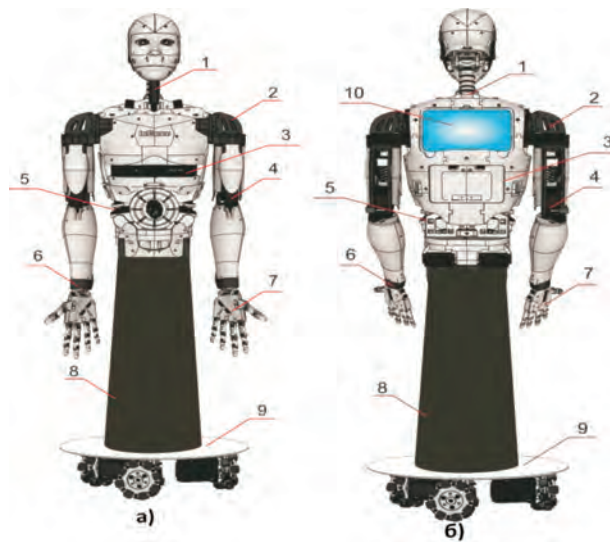
The advantages of the wheeled robot: they are faster, more stable, easy manageable, more efficient and can provide with more payload in implementation, more degree of freedom allows to move efficiently diagonally, right, left and forward, backward.

The verbal robot consists of 1-head, 2- shoulder, 3- face recognition device, 4- elbow, 5- torso, 6- hand, 7- arms, 8- platform for controlling the entire system, 9- omnidirectional mobile platform, 10- touch screen.

The mobile platform contains three universal wheels, each wheel spaced 120 degrees apart to make the robot static and with three distinctive motor wheels to make the robot move.

3D printing front part of the verbal robot. The front side of the robot's body is completely 3D printed usage (PLA) plastic, which is a kind of biodegradable plastic and has no pungent odor. The 3D printer which we used has a working area of 200 \* 200 \* 300mm, which meets the requirements of the "InMoov" robot. The left and right modular hand has five fingers and a wrist joint. The fingers have 15 degrees of freedom (DOF) and are driven by five servo-MG996R through the wire.

Each finger runs through two wires, one wire drives the number to return to straight, and the other wire drives the number to bend. Because there are 15 DOFs of left and right

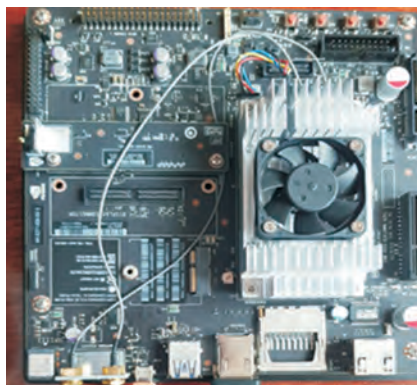


**Figure 1** – a) 3D printed front side of the verbal robot;  
b) 3D printed back side of the verbal robot

nimble hand modules, they are under a powered mechanical system. When the left or right hand grabs the object, the finger will convert the object automatically. For the wrist joint, another MG996R servo is needed to control back and forth rotation.

The mouth and head rotate to the right and left with a total of 7 degrees of freedom. The left shoulder elbow module has 4 DOFs and this leads to the HS-805BB hi-tech servo. The arm and elbow module is symmetrical with the left arm and with the elbow module. The main module and the waist module are considered one module in our “Inmoov” robot because they are linked to the same control panel. The main module has 3 DOFs, while the waist module can be controlled by the Inmoov robot to tilt about 20 degrees.

Onboard equipment. As shown in Figure 4, the onboard equipment is installed in an automated system. In addition to the nested Mega Arduino, six verbal robot “Inmoov” modules are used to study human robot interaction problems.



**Figure 2** – Onboard equipment



Figure 2 shows to increase the processing capacity, Jetson tx-1 CPU with 32G memory, 128G solid state drive is installed at the end of the robot. A PC running Linux and Robot Operating System (ROS) can communicate with the Mega Arduino via a serial interface.



Figure 3 – Microsoft Kinect Sensor

Figure 3 shows a Microsoft Kinect sensor is incorporated into the robot’s belly to sense the environment and interact with humans. Kinect connect to Jetson tx-1. Existing ROS libraries such as the openni startup are used to get information about the sensor. A 7-inch touchscreen is installed in the rear to provide additional feedback and interoperability.

Electrical connection of the verbal robot. Onboard equipment is powered by a 24V, 16Ah lithium battery pack. Battery management and breaker units are installed on a mobile basis. The equipment has different power ratings and requirements. Servos and Arduino are powered by 6V, but must be isolated from each other. The Kinect requires a 12 volt power supply. The Jetson tx-1 requires a 19 volt power supply. In addition, to ensure the safety and stability of the Jetson tx-1 and the touch screen, the 24-volt DC to the inverter is set to 220 V. A block diagram of the power management system is shown in Figure 4.

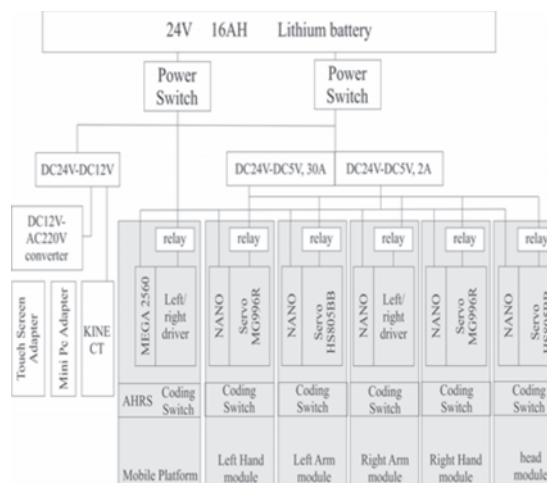


Figure 4 – Block Diagram of Power Management System

Verbal robot software structure. This software is designed to be modular in order to match the hardware. The modular drive is easy to operate and maintain. Six modules have

six control panels, and all of these six modules are linked and used in RS485 to communicate with the main Arduino Mega 2560.

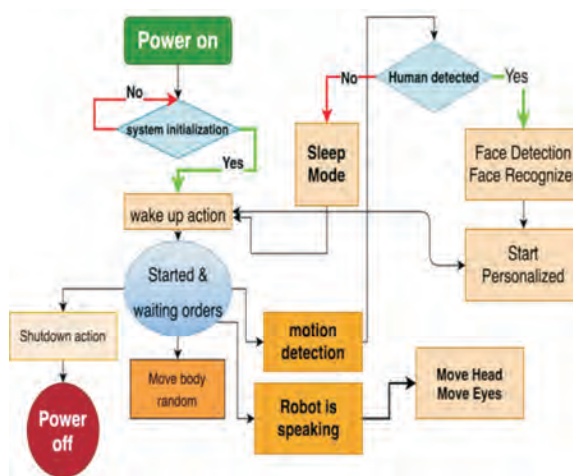


Figure 5 – Verbal robot control algorithm

As we can see from Figure 5, when the robot is turned on, the system begins to initialize. After the whole system is connected to the robot modules with 50 degrees of freedom, it starts to move in a chaotic manner, and in parallel, the platform for controlling the entire system will have voice guidance, and in parallel it will read the motion sensor data. If there is movement, then the face recognition device recognizes the moving face of the person. Further, the personalization of the person begins and will conduct a dialogue with the person and a database is created for each person with whom the robot communicated. After the dialogue is over, the data is sent to the propulsion system. If the sensor does not recognize movement, then the robot goes into sleep mode. After sleep mode at a certain time, the entire system is turned off.

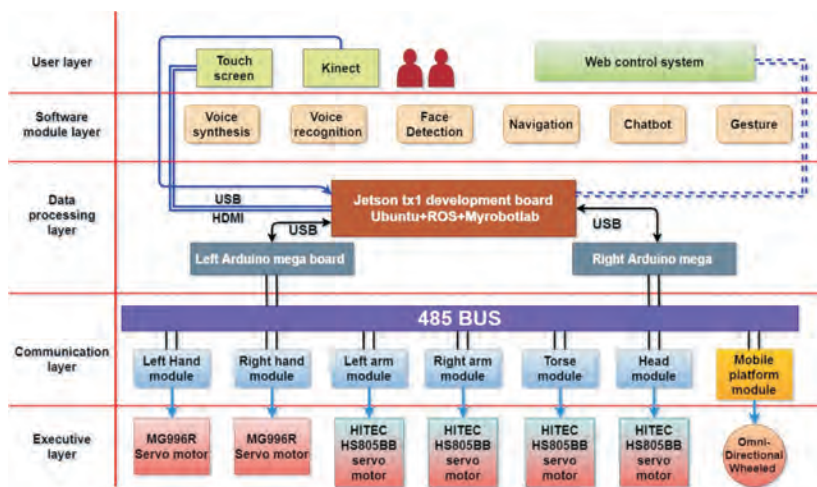


Figure 6 – Verbal robot software architecture “INMOOV”

Figure 6 shows the proposed structure of the verbal robot software architecture. The software is divided into five layers, the user layer, the software module layer, the data processing layer, the communication layer, and the Executive layer. The user layer includes a function that directly interacts with the robot operator, touch screen, Kinect sensor, and web monitoring system.

The software module layer consists of software modules for speech recognition, speech synthesis, face recognition, navigation modules and a chat bot that simulates a real conversation with the user, as well as a software module for gestures. There is a logical connection and intelligent control between them. In “INMOOV,” the humanoid robot Jetson-tx1, running Ubuntu and ROS act as the main controller and coordinator. Based on the rich ROS libraries, it becomes easier to get the human skeleton and other sensor information from the Kinect, camera, and microphones. The data processing layer consists of Jetson-tx1, which can receive commands from Kinect. The communication layer consists of Arduino Mega 2560 and six nested dispatcher modules. The executive layer consists of servo motors and 120 degree three motors. The RS485 has a simple structure and can have many slave modules. In the RS485 network Arduino Mega, as the main computer and control panel of each module, serves as a computer. The main computer is responsible for the control command, for acquiring data and for executing the control signal. When the control panels communicate with the host computer, it follows the Modbus protocol, which uses the mechanism to eliminate communication errors. In this network, each control panel serves as a node, which has a different ID. ID can be configured using the onboard Dip Switch.

**Results.** This article proposed a fully functional low cost 3D printed verbal robot using InMoov. The robot is based on the publicly available 3D printed verbal robot “InMoov”. A dispatcher in mechanical parts and an electrical power system has been developed, which makes all parts interchangeable. Jetson-tx1 explores a new type of robot software technology. The verbal robot has a human-like structure as well as a variety of interactive patterns. The person can communicate with the touch screen and the Kinect sensor. The Kinect sensor plays a major role in learning progress. The robot has two mobile manipulators with DOFs.

## REFERENCES

1 N. Rodriguez, G. Carbone, and M. Ceccarelli, “Antropomorphic design and operation of a new low-cost humanoid robot,” in *Biomedical Robotics and Biomechanics, 2006. BioRob 2006. The First IEEE/RAS-EMBS International Conference on*, Feb 2006, pp. 933–938.

2 K. Hirai, M. Hirose, Y. Haikawa, and T. Takenaka, “The development of honda humanoid robot,” in *Robotics and Automation, 1998. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on*, vol. 2, May 1998, pp. 1321–1326 vol.2.

3 Y. Sakagami, R. Watanabe, C. Aoyama, S. Matsunaga, N. Higaki, and K. Fujimura, “The intelligent asimo: system overview and integration,” in *Intelligent Robots and Systems, 2002. IEEE/RSJ International Conference on*, vol. 3, 2002, pp. 2478–2483 vol.3.

4 S. Okita, V. Ng-Thow-Hing, and R. Sarvadevabhatla, “Learning together: Asimo developing an interactive learning partnership with children,” in *Robot and Human Interactive Communication, 2009. ROMAN 2009. The 18th IEEE International Symposium on*, Sept 2009, pp. 1125–1130.

5 K. Kaneko, F. Kanehiro, S. Kajita, K. Yokoyama, K. Akachi, T. Kawasaki, S. Ota, and T. Isozumi, "Design of prototype humanoid robotics platform for hrp," in *Intelligent Robots and Systems*, 2002. IEEE/RSJ International Conference on, vol. 3, 2002, pp. 2431–2436 vol.3.

6 G. Carbone, H. ok Lim, A. Takanishi, and M. Ceccarelli, "Numerical and experimental estimation of stiffness performances for the humanoid robot wabian-rv," in *Advanced Intelligent Mechatronics*, 2003. AIM 2003. Proceedings. 2003 IEEE/ASME International Conference on, vol. 2, July 2003, pp. 962–967 vol.2.

7 P. Ghassemi, M. Masouleh, and A. Kalhor, "Push recovery for nao humanoid robot," in *Robotics and Mechatronics (ICRoM)*, 2014 Second RSI/ISM International Conference on, Oct 2014, pp. 035–040.

8 S. Nugroho, A. Prihatmanto, and A. Rohman, "Design and implementation of kinematics model and trajectory planning for nao humanoid robot in a tic-tac-toe board game," in *System Engineering and Technology (ICSET)*, 2014 IEEE 4th International Conference on, vol. 4, Nov 2014, pp. 1–7.

9 D. Lopez Recio, L. Marquez Segura, E. Marquez Segura, and A. Waern, "The nao models for the elderly," in *Human-Robot Interaction (HRI)*, 2013 8th ACM/IEEE International Conference on, March 2013, pp. 187–188.

10 J. Lafaye, C. Collette, and P.-B. Wieber, "Model predictive control for tilt recovery of an omnidirectional wheeled humanoid robot," in *Robotics and Automation (ICRA)*, 2015 IEEE International Conference on, May 2015, pp. 5134–5139.

11 J. Lafaye, D. Gouaillier, and P.-B. Wieber, "Linear model predictive control of the locomotion of pepper, a humanoid robot with omnidirectional wheels," in *Humanoid Robots (Humanoids)*, 2014 14th IEEE/RSJ International Conference on, Nov 2014, pp. 336–341.

12 N. Eduardo, C. Giuseppe, and C. Marco, "Capaman2bis as trunk module in caluma (cassino low-cost humanoid robot)," in *Robotics, Automation and Mechatronics*, 2006 IEEE Conference on, Dec 2006, pp. 1–6.

13 D. Ye, S. Sun, J. Chen, and M. Luo, "The lightweight design of the humanoid robot frameworks based on evolutionary structural optimization," in *Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2014 IEEE International Conference on, Dec 2014, pp. 2286–2291.

14 A. Anastasiou, C. Tsirmpas, A. Rompas, K. Giokas, and D. Koutsouris, "3d printing: Basic concepts mathematics and technologies," in *Bioinformatics and Bioengineering (BIBE)*, 2013 IEEE 13th International Conference on, Nov 2013, pp. 1–4.

15 S. Schulz, I. Likebohle, and S. Wachsmuth, "An affordable, 3dprintable camera eye with two active degrees of freedom for an anthropomorphic robot," in *Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2012 IEEE/RSJ International Conference on, Oct 2012, pp. 764–771.

16 S. Davis, N. Tsagarakis, and D. Caldwell, "The initial design and manufacturing process of a low cost hand for the robot icub," in *Humanoid Robots*, 2008. Humanoids 2008. 8th IEEE-RAS International Conference on, Dec 2008, pp. 40–45.

17 M. Kalimoldayev, M. Akhmetzhanov, M. Kunelbayev, T. Sundetov, "Information systems of integrated machine learning modules on the example of a verbal robot," in *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 2019. vol. 6, Issue 438, 2019, pp. 215–222. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.173> ISSN 2518-170X (Online), ISSN 2224-5278 (Print)

18 Robot Singular Motion at Onward Travelling and Kinematics Problem Solving and Covering of Workspace and Global Asymptotic Control. Maksat Kalimoldayev;Balgaysha Mukanova;Maxat Akhmetzhanov;Murat Kunelbayev. Publication Year: 12-13 June 2020 2020,Page(s):1–5. DOI: 10.1109/ICECCE49384.2020.9179428.

19 Determination of the power interaction of the hydro turbine grid with a fluid flow for a double-rotor micro hydro power plant. Kalimoldayev M., Akhmetzhanov M., Kunelbayev, M. News

of the National academy of sciences of the republic of Kazakhstan-Series physico-mathematical. №: 4 : 326 С.: 59-67. DOI: 10.32014/2019.2518-1726.44.

**Ч. КЕНШИМОВ<sup>1</sup>, Т. Р. СУНДЕТОВ<sup>1</sup>, М. М. КУНЕЛБАЕВ<sup>1,2</sup>,  
С. Ш. ИКСАНОВ<sup>2</sup>, М. МАНСУРОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,  
<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университетінің Алматы қаласы

**ҚҰАТ ЖҮЙЕСІН БАСҚАРУ, АЛГОРИТМІН ЖӘНЕ АУЫЗША  
РОБОТ АРХИТЕКТУРАСЫН ДАМУ**

Бұл жұмыс Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі грантының №АР08053034 «қазақ ым тілін модельдеу мен танудың жаңа әдістерін әзірлеу», ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялары институтының қолдауымен орындалды. Бұл мақалада қуат жүйесі, басқару алгоритмі және ауызша роботтың архитектурасы қарастырылады. Робот жалпыға қол жетімді 3D принтерде жасалған. Осы зерттеу барысында ауызша роботтың жалпы бағдарламалық жүйесінің архитектурасы жасалды, сонымен қатар қуат жүйесі мен жалпы жүйені басқару алгоритмі жетілдірілді. Jetson tx1 жабдығын және InMoov-пен өзара әрекеттесу үшін сенсорлық экранды қолдана отырып, бүкіл жүйені басқаруға арналған интерфейс жасалды. Kipest детекторы осы тақырыпты зерттеу процесінде маңызды рөл атқарады. Қолданыстағы гуманоидты роботтармен салыстырғанда, ауызша робот жоғары автоматтандырылған платформа, арзан және толық жұмыс істейді.

**Түйін сөздер:** ауызша робот, энергетикалық жүйе, басқару алгоритмі, сәулет, Jetson tx1.

**Ч. КЕНШИМОВ<sup>1</sup>, Т. Р. СУНДЕТОВ<sup>1</sup>, М. М. КУНЕЛБАЕВ<sup>1,2</sup>,  
С. Ш. ИКСАНОВ<sup>2</sup>, М. МАНСУРОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий,  
<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы

**РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ, АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ  
И АРХИТЕКТУРЫ ВЕРБАЛЬНОГО РОБОТА**

Данная работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки Республики Казахстан в рамках Работы №АР08053034 «Разработка новых методов моделирования и распознавания казахского языка жестов», Института информационных и вычислительных технологий КНЦ МОН РК. В данной статье рассматриваются система питания, алгоритм управления и архитектура вербального робота. Робот основан на общедоступном 3D-принтере. В ходе данного исследования была разработана архитектура общей программной системы вербального робота, а также усовершенствована система питания и алгоритм управления общей системой. Используя оборудование Jetson Tx1 и сенсорный экран для взаимодействия с InMoov, был создан интерфейс для управления всей системой. Детектор Kipest играет важную роль в процессе изучения этой темы. По сравнению с существующими гуманоидными роботами вербальный робот представляет собой высокоавтоматизированную платформу, недорогую и полностью функциональную.

**Ключевые слова:** вербальный робот, энергетическая система, алгоритм управления, архитектура, Jetson tx1.



**Г.М. МАУИНА<sup>1\*</sup>, Е.А. ЧЕРТКОВА<sup>2</sup>, В.С. КАРПОВ<sup>3</sup>,  
С.А. НУКУШЕВА<sup>1</sup>, У.Ж. АЙТИМОВА<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина,  
г. Нур-Султан, Казахстан;

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Государственная корпорация «Агентство по страхованию вкладов»,  
г. Москва, Россия

## **ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ АГРОПРЕДПРИЯТИЙ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА**

*В данной статье представлено описание разработанной информационно-аналитической системы поддержки принятия решений по выбору оптимального сценария производства агропредприятия – ИАС ППР Kazagro Choice. Проблема принятия управленческих решений по сценариям производства агропредприятий Северного Казахстана обусловлена наличием множества критериев (параметров) производственно-рыночных условий. Корректность учета критериев предопределяет качество принятия управленческого решения по предпочтительному сценарию функционирования сельскохозяйственного объекта. В ИАС ППР Kazagro Choice заложена концепция поиска наилучшего (оптимального) сценария производства среди всех возможных альтернативных сценариев. Разработка ИАС ППР Kazagro Choice основана на авторской математической модели с доминантной иерархией задачи выбора сценария производства и на реализации метода анализа иерархии. ИАС ППР Kazagro Choice делает возможным для лица, принимающего решение, выбор предпочтительного (оптимального) сценария производства агропредприятия в условиях многофакторности влияния и доступности экспертной информации. Отличительные характеристики ИАС ППР Kazagro Choice: ориентация на решение плохо структурированных задач; сочетание традиционных методов доступа и обработки компьютерных данных с возможностями математического моделирования. Конкретная прикладная ценность работы заключается в возможности применения адаптивной реализационной модели принятия управленческих решений по выбору предпочтительного сценария производства для широкой линейки агропредприятий.*

**Ключевые слова:** многокритериальные задачи; критерии влияния; метод анализа иерархий; иерархия систем; принятие решений.

**Введение.** В настоящее время разработка методов поддержки принятия управленческих решений в сельскохозяйственных отраслях является весьма актуальной. Это затрагивает такие области, как повышение эффективности сельскохозяйственного производства, решение ресурсных задач и многие другие. Особенностью функционирования современных агропредприятий является наличие множества параметров (критериев) производственно-рыночных условий, например, затраты, прибыль, риски и т.п., которые определяют сценарии функционирования сельскохозяйственного объекта. Это обуславливает сложность выбора предпочтительного сценария производ-

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [alema85@mail.ru](mailto:alema85@mail.ru)



ства агропредприятия для лица, принимающего решения (ЛПР) по конкретной проблеме прогнозирования и планирования.

Поиск окончательного управленческого решения по выбору предпочтительных сценариев производства на агропредприятиях Северного Казахстана может быть связан с необходимостью оперативной обработки больших объемов разнородной информации с использованием различных методов, алгоритмов и правил построения альтернативных решений. В этих условиях актуальной и важной задачей является разработка и внедрение инновационных методов и технологий автоматизированной поддержки принятия управленческих решений для агропредприятий Северного Казахстана.

Анализ источников по данной предметной тематике – принятие управленческих решений в сельскохозяйственной индустрии – выявил преимущественные тенденции применения эвристических методов из группы методов многокритериального анализа (Multiple Criteria Decision Analysis — MCDA) [1]. Эти методы предназначены для структурирования и решения проблем принятия решений и планирования, связанных с несколькими критериями. В зарубежных сельскохозяйственных отраслях множество проблем в условиях многокритериальности задач исследуется с применением метода анализа иерархии (МАИ). Этот метод, разработанный американским математиком Томасом Саати [2] в 1970-х гг. (Analytic hierarchy process – (АНР)), является структурированным методом организации и анализа сложных решений, основанный на математике и психологии. Следует отметить, что основы этого метода были заложены российскими учеными Б. Н. Бруком и В. Н. Бурковым в 1972 г. [3]. Анализ современных исследований в области принятия решений для сельскохозяйственных отраслей показал, что применение метода анализа иерархии в сочетании с другими инструментариями направлено на развитие и оптимизацию важнейших направлений этой индустрии. Одно из направлений в мировой практике применения метода анализа иерархий – принятие управленческих решений для повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Для повышения информативности и автоматизации выработки управленческих решений для многих предметных областей оказывается целесообразным использование специальных компьютерных программ: систем поддержки принятия решений (СППР). СППР представляют собой класс информационных систем, в рамках которых опыт и неформализованные знания лица, принимающего решение, сочетаются с применением математического аппарата. Интеграция СППР и информационно-аналитических систем представляет собой программно-инструментальный продукт: информационно-аналитические системы поддержки принятия решений (ИАС ППР), который обеспечивает повышение информативности для ЛПР и реализовывает автоматизацию выработки управленческих решений.

За счет моделирования поведения внешней среды, применения подходящих методов принятия решений, обработки требуемых объемов информации и получения, в случае необходимости, альтернативных и (или) окончательных вариантов управленческих решений, СППР позволяет оперативно учитывать меняющиеся условия внешней среды и их воздействие на параметры управляемой системы. СППР может формировать управленческие решения двумя основными способами – на основе пра-

вил и алгоритмов, заложенных в нее, а также на основе алгоритмов, генерируемых самой системой.

Направление разработки СППР и ИАС нашло отражение в работах западных авторов, например, [4-7], а также исследований казахских ученых в рамках научных проектов, например, [8-10].

Следует отметить, что в настоящее время на рынке программных продуктов присутствуют ограниченное количество СППР, обеспечивающие автоматизацию выработки управленческих решений на основе методологии МАИ. К таким системам относятся: Expert Choice [11], Transparent Choice [12], Super Decisions [13] и некоторые другие.

Исследование и анализ существующих СППР (и в автономном решении, и в составе ИАС) показал, что на сегодняшний день отсутствуют ИАС ППР, решающие задачи поддержки принятия управленческих решений по выбору сценария рациональной организации производства на агропредприятиях в условиях многокритериальности факторов влияния на основе модели, отражающей специфику прикладной ситуации.

Целью настоящей разработки явилось создание информационно-аналитической системы поддержки принятия решений (ИАС ППР) для предприятий аграрного сектора Северного Казахстана с целью обеспечения повышения информативности ЛПР и автоматизации процесса поддержки принятия управленческих решений.

**Методы исследования.** В результате предварительных исследований структурирована и формализована ситуационная задача поддержки принятия управленческого решения по выбору сценария производства в условиях многокритериальности и доступности экспертной информации на примере предприятия аграрного сектора Северного Казахстана [14, 15].

При формализации задачи в качестве математического инструмента системного подхода к проблеме принятия решения по оптимальному сценарию агропредприятия в условиях многокритериальности факторов влияния принят метод анализа иерархий. При применении процедуры попарных сравнений метод анализа иерархий позволяет определить приоритеты, представляющие собой относительную важность элементов построенной иерархической структуры. Безразмерные приоритеты позволяют сравнить разнородные факторы. Заключительный этап метода анализа иерархий – синтез всех приоритетов иерархии и, соответственно, расчет глобальных приоритетов альтернатив (для данной задачи – сценариев производства) относительно главной цели – оптимального сценария производства агропредприятия. Наилучший альтернативный сценарий производства будет иметь максимальное значение глобального приоритета.

В общем виде математическая модель для многокритериальных задач принятия решений может быть представлена следующим кортежем [16].

$$\langle S; E_1, \dots, E_m; M \rangle, \quad (1)$$

где  $S$  – множество вариантов решения (для нашей задачи – альтернативные сценарии производства агропредприятия),  $E_1, \dots, E_m$  – критерии задачи (для нашей задачи – это критерии выбора варианта сценария работы предприятия),  $m$  – количество критериев ( $m \geq 2$ ),  $M$  – множество отношений предпочтений экспертов для сравнения критериев

(отношения нестрогого предпочтения). Совокупность значений  $E_i(s)$  образуют векторную оценку варианта решения  $s$  из множества вариантов  $S$ .

Для анализа многокритериальной задачи принятия решений из множества альтернатив представим математическую модель (1) в виде (2), чтобы отразить множество вариантов решения, количество уровней иерархии, множество отношений предпочтения экспертов на каждом уровне, количество критериев на каждом уровне:

$$\langle S^1, S^2, \dots, S^z; E_1^1, E_2^1, \dots, E_i^1; E_1^2, E_2^2, \dots, E_j^2; \dots; E_1^z, E_2^z, \dots, E_f^z; M^1, M^2, \dots, M^z \rangle \quad (2)$$

где  $S^z$  – множество вариантов решения (множество альтернативных типов сценариев производства),  $z$  – количество уровней иерархии ( $z = 1, 2, \dots, Z$ ),  $E_1^z, \dots, E_m^z$  – критерии задачи (критерии эффективности сценария),  $M^z$  – множество отношений предпочтений экспертов на каждом уровне,  $i, j, f$  – количество критериев на каждом уровне.

Каждый вариант решения  $S$  из множества вариантов  $S^z$  характеризуется значениями  $E_i(s)$ , образующего векторную оценку  $p(s)$  этого варианта:

$$p(s) = (E_1(s), \dots, E_m(s)) \quad (3)$$

Моделируются данные предпочтения при помощи отношения нестрогого предпочтения  $M$  на  $P$ :  $P' M P''$ , что означает, что векторная оценка  $p'$  не менее предпочтительна, чем  $p''$  и т.д. Предпочтения строятся на основе набора критериев  $E_1, \dots, E_m$ , по которым оцениваются альтернативные решения.

Для получения глобального вектора оценки альтернативных сценариев производства, который будет объединять в себе векторную оценку  $P^z$  каждого уровня, можно воспользоваться известными функциями свертки, при помощи которых все векторные оценки критериев  $E_i^z$  сворачиваются в одну обобщенную векторную оценку:

$$B(P_i, P_j^{i'}) = b(p_1, p_1^{i'}, \dots, p_i, p_i^{i'}) \quad (4)$$

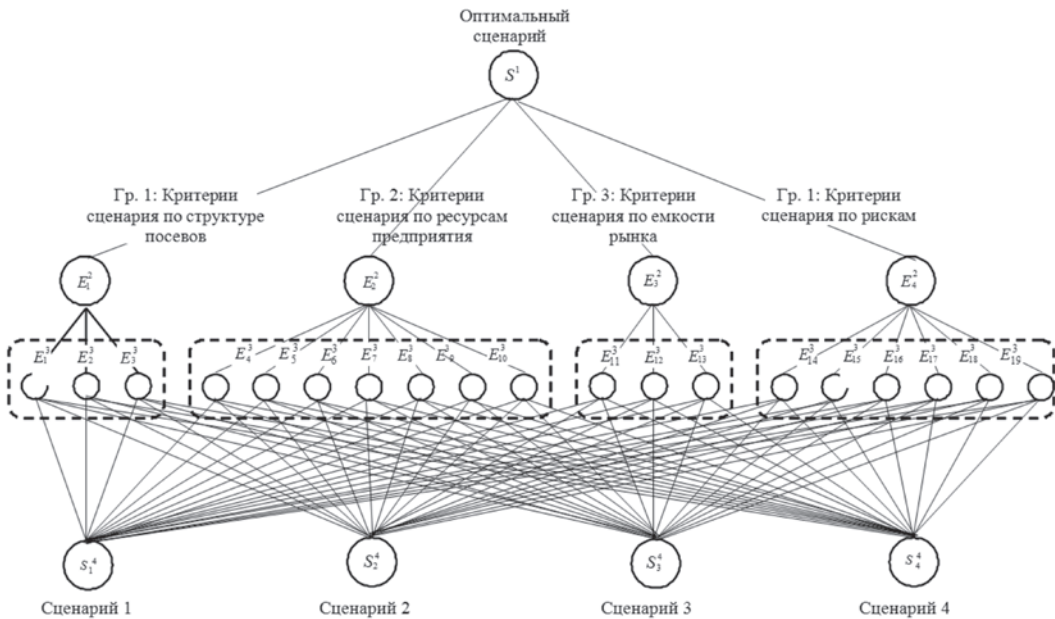
Комплексная оценка каждого альтернативного сценария производства агропредприятия должна производиться с учетом влияния всех управляющих критериев. Прикладные научные исследования производства Северо-Казахстанского агропромышленного комплекса выявили наличие критериев (параметров) производственно-рыночных условий, которые оказывают влияние на функционирование агропредприятия [17]. Управляющие критерии были идентифицированы и представлены в четырех группах:

- Группа 1. Условия по структуре посевов и севооборотам (3 критерия)
- Группа 2. Ресурсы предприятия (7 критериев)
- Группа 3. Условия по емкости рынка и контрактным обязательствам (3 критерия)
- Группа 4. Риски (6 критериев)

Для определения степени влияния критериев рекомендовано введение экспертных оценок. Оценки экспертов степени влияния критериев (параметров) производственно-рыночных условий для агропредприятий Северного Казахстана носят субъективный характер и имеют качественную (вербальную) составляющую. Поэтому для перево-

да качественных оценок критериев в количественные с последующим проведением парных сравнений предложено использовать девятибалльную шкалу относительной важности критериев Т. Саати [18]. Специалисты отмечают, что эта шкала оказалась эффективной не только во многих приложениях, ее правомочность доказана теоретически при сравнении со многими другими шкалами.

**Результаты исследования.** В соответствии с предложенным экспертно-статистическим методом решения многокритериальной задачи выбора оптимального сценария производства для его последующей компьютерной реализации в ИАС ППР разработана полная доминантная иерархия четырех уровней [19] (Рисунок 1).



**Рисунок 1** – Доминантная иерархия представления задачи выбора сценария производства агропредприятия

Эта структура отражает цель – оптимальный сценарий, через оценки промежуточных уровней (группы критериев и перечень критериев в группах) к самому нижнему уровню (перечень альтернативных сценариев производства). Отметим, что количество альтернативных сценариев производства агропредприятия на 4-м уровне данной иерархии выбрано произвольным (равным 4), как пример для проведения пилотных расчетов при переходе от разработанной обобщенной математической модели. Сформулированы следующие примеры сценариев растениеводческих производств:

*Сценарий 1.* Производство агропредприятия с повышением урожайности яровой пшеницы до 25 ц/га при увеличении производительности труда в 2,0-2,5 раза на площади не менее 3000 га.

*Сценарий 2.* Производство агропредприятия с дифференцированной обработкой отдельных частей поля и с учетом мелкомасштабных особенностей природных условий.

*Сценарий 3.* Производство агропредприятия по электронным картам полей и с учетом спецификации региона.

*Сценарий 4.* Производство агропредприятия для условий точного земледелия при модернизации агрономического оборудования.

Для автоматизации процесса поддержки принятия управленческих решений по оптимальному сценарию агропроизводства разработана информационно-аналитическая система ИАС ППР Kazagro Choice (Свидетельство о внесении в Государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом, №16236 от 31.03.2021 года).

Система представляет собой «настольный» программный продукт, предусматривающий установку программного обеспечения непосредственно на компьютере пользователя. Программа ИАС ППР Kazagro Choice реализует авторскую методологию проведения системного анализа по выбору приоритетного сценария производства при множестве факторов влияния (критериев) и при условии доступности экспертных оценок критериев. Программа создана на языке Visual Basic for Application (VBA) и реализована макросами с кодами VBA. ИАС ППР Kazagro Choice отражает структурирование проблемы принятия управленческих решений по сценариям производства агропредприятий в виде доминантной иерархии четырех уровней.

В соответствии с алгоритмом выбора оптимального сценария производства агропредприятия по реализационной модели в ИАС ППР Kazagro Choice реализуются следующие функции.

1. Формирование уровня альтернативных сценариев производства агропредприятия доминантной иерархии с функциями добавления/удаления альтернативных сценариев.

2. Формирование уровня доминантной иерархии по группам критериев влияния с функциями добавления/удаления групп критериев влияния.

3. Формирование уровня доминантной иерархии с распределением критериев влияния по группам с функциями добавления/удаления критериев влияния в соответствующие группы.

4. Формирование и расчеты квадратных обратно симметричных матриц сравнения критериев влияния между собой в каждой группе для 3-го уровня доминантной иерархии:

4.1. Расчеты значений векторов приоритетов.

4.2. Расчеты проверки согласованности экспертных оценок критериев влияния.

5. Формирование и расчеты квадратных обратно симметричных матриц сравнения альтернативных сценариев производства по экспертным критериям, объединенным в группы.

5.1. Расчеты значений векторов приоритетов по каждому альтернативному сценарию производства.

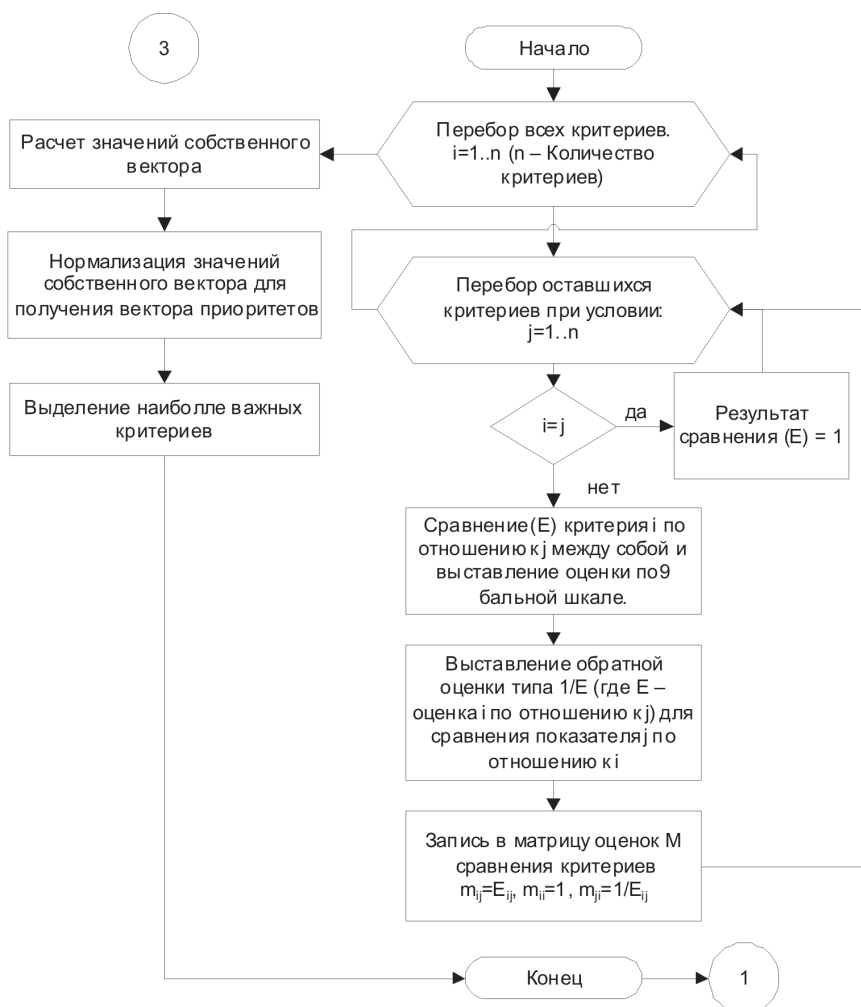
5.2. Расчеты проверки согласованности экспертных оценок влияния групп критериев на каждый альтернативный сценарий производства.

6. Расчеты значений глобальных векторов приоритетов альтернативных сценариев производства.

Для формальной верификации соответствия между разработанной математической моделью и ИАС ППР Kazagro Choice по выбору оптимального сценария производства агропредприятия разработан пакет блок-схем на все алгоритмические этапы, реализуемые в программном инструментарии ИАС ППР Kazagro Choice.

Опишем некоторые алгоритмические этапы, реализуемые в программном инструментарии ИАС ППР Kazagro Choice.

*Этап «Сравнение критериев оценки между собой».* Цель: определение приоритетов критериев влияния. Блок-схема алгоритма процедуры определения приоритетов критериев влияния представлена на Рисунке 2.



**Рисунок 2** – Блок-схема алгоритма процедуры определения приоритетов критериев влияния

После формирования списка критериев устанавливаются их приоритеты сравнением между собой для выявления наиболее важных критериев и для последую-



щей оценки альтернативных сценариев производства агропредприятия. В ИАС ППР Kazagro Choice предусмотрен лист оценки критериев с автоматическим формированием матриц, которые должны быть заполнены количественными оценками экспертов. После заполнения матриц выражениями субъективных парных суждений с использованием шкалы относительной важности вычисляется множество собственных векторов для каждой матрицы. После нормализации собственные вектора становятся векторами приоритетов критериев.

*Этап «Ввод списка сценариев производства»* Ввод и редактирование списка альтернативных сценариев производства агропредприятия реализуется в программном инструментарии в специальной экранной форме. Эта процедура и экранная форма ввода и редактирования предусмотрена для расширения списка альтернативных сценариев производства.

*Этап «Оценка сценариев производства».* Цель: оценка сравнения альтернативных сценариев производства агропредприятия между собой по критериям влияния. На этом этапе оцениваются альтернативные сценарии производства агропредприятия по каждому из заданных критериев.

*Этап «Расчет глобального результата сравнения сценариев производства и критериев».* На этом этапе расчетов применяется принцип синтеза приоритетов на иерархии для взвешивания собственных векторов матриц парных сравнений альтернатив сценариев весами критериев и выбор оптимального сценария (блок-схема на Рисунке 3).

Все этапы расчета соответствуют разработанной рекуррентной процедуре многокритериальной оптимизации на основе метода анализа иерархий и полных парных сравнений для принятия решения по выбору оптимального сценария агропроизводства из альтернативных в условиях доступности экспертной информации.

**Заключение.** Разработанная информационно-аналитическая система поддержки принятия решений по выбору оптимального сценария производства агропредприятия – ИАС ППР Kazagro Choice – реализует процедуру принятия решения с использованием многокритериальной иерархической структуры. Исходным условием разработки ИАС ППР Kazagro Choice по оптимальным многофакторным сценариям производства агропредприятий являлось применение технологии компьютерной обработки экспертных данных по критериям влияния.

В программе ИАС ППР Kazagro Choice предусмотрены следующие опции по несвязанным множествам:

- добавление/удаление количества альтернативных сценариев производства агропредприятия;
- добавление/удаление количества групп критериев влияния;
- добавление/удаление количества критериев влияния в группы.

Следует отметить, что при реализации опций по несвязанным множествам (добавление/удаление количества альтернативных сценариев, количества групп критериев влияния, количества критериев влияния в группах) расчетный алгоритм в ИАС ППР Kazagro Choice не меняется.

Программно-инструментальное средство поддержки принятия решений по выбору оптимального сценария агропроизводства ИАС ППР Kazagro Choice имеет следующие отличительные особенности:

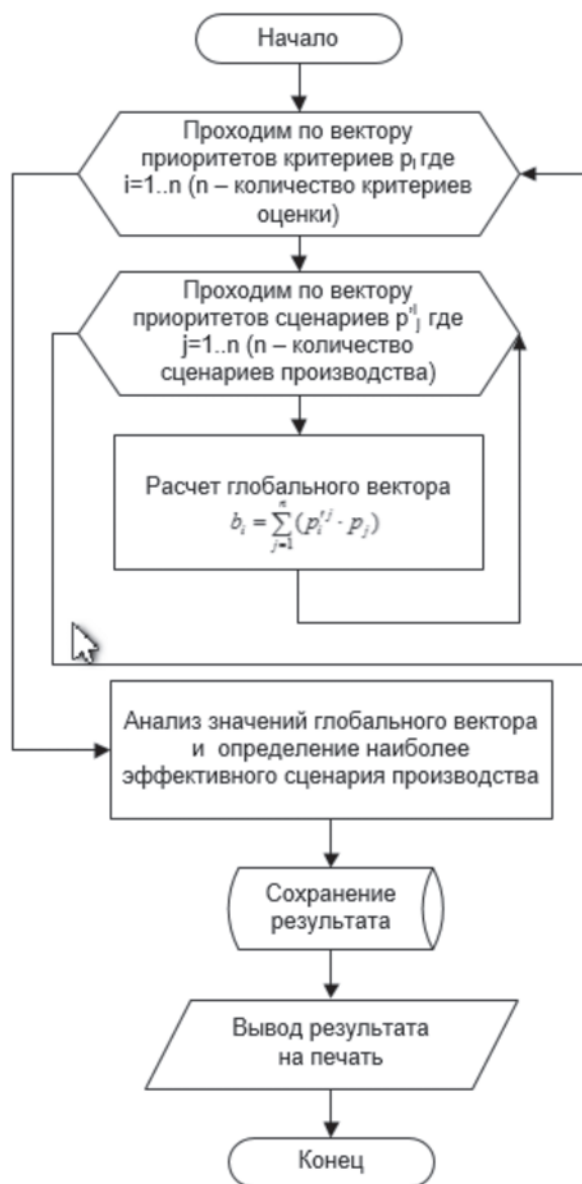


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма расчета глобальных векторов альтернативных сценариев производства агропредприятия

- система содержит базу данных для хранения информации, необходимой для проведения расчетов; описания задач и методов принятия решений;
- система является проблемно-ориентированной для задач принятия решений по выбору предпочтительного сценария производства агропредприятия в условиях многофакторности влияния и доступности экспертной информации.

Разработанный инструментарий осуществляет развитие систем поддержки принятия решений на основе преимуществ метода анализа иерархий по следующим элементам:

- заданы предпочтения лиц, принимающих решение, в виде матриц попарных сравнений альтернатив по каждому признаку в девятибалльной шкале Т. Саати;
- введен принцип Т. Л. Саати согласования оценок альтернатив;
- включена проверка согласованности оценок альтернатив по отдельным признакам с использованием метода анализа иерархий.

ИАС ППР Kazagro Choice делает возможным для лица, принимающего решение, выбор предпочтительного (оптимального) сценария производства агропредприятия в условиях многофакторности влияния и доступности экспертной информации.

Конкретная прикладная ценность работы заключается в возможности применения ИАС ППР Kazagro Choice для широкой линейки агропредприятий при решении задачи выбора оптимального сценария производства в условиях многофакторности производственно-рыночных условий и доступности экспертной информации.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы №BR06349506 «Трансферт и адаптации технологий по точечному земледелию при производстве продукции растениеводства по принципу «демонстрационных хозяйств» (полигонов) в Северо-Казахстанской области на 2018-2020 гг.» Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Figueira J., Greco S., Ehrgott M. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. – New York: Springer Science & Business Media, 2005. – 1045 p.
- 2 Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process. – New York: McGraw-Hill, 1980. – 296 p.
- 3 Брук Б., Бурков В.Н. Методы экспертных оценок в задачах упорядочения объектов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1972. № 3. С. 29-39
- 4 Bonczek R. H., Holsapple C., Whinston A. B. Foundations of decision support systems. N. Y.:Academic Press, 1981.
- 5 Sprague R. H., Carlson E. D. Building effective decision support svstems. EnglewoodCliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1982.
- 6 Sharda R., Bair S., McDonnell J. Decision support systems effectiveness: A review and anempirical test // Management Science. 1988. Vol. 34. № 2. P. 139–159.
- 7 Кравченко Т.К., Середенко Н.Н. Создание систем поддержки принятия решений: интеграция преимуществ отдельных подходов / Искусственный интеллект и принятие решений. 2012, № 1
- 8 Исмаилова А.А. Информационно-аналитическая система исследования водных экосистем (на примере озер Казахстана): дис. ... док. филос. (PhD): 6D070300.– Астана. 2014. – 108 с.
- 9 Сабитова Д.С. Разработка информационно-аналитической системы волновых процессов в однородных средах: дис. ... док. филос. (PhD): 6D070300. – Нур-Султан. 2020. – 112 с.
- 10 Нурушева А.М. Программные средства, подходы и меры обеспечения надежности функционирования информационных систем: дис. ... док. филос. (PhD): 6D070300. – Нур-Султан. 2020. – 150 с.
- 11 AHP Software for Decision Making and Risk Assessment / <https://www.expertchoice.com/2021>.

12 Transparent Choice / <https://www.transparentchoice.com/>

13 Super Decisions / <https://www.superdecisions.com/>

14 Мауина Г.М., Черткова Е.А., Айтимова У.Ж., Нукушева С.А. Концепции и модели принятия управленческих решений для агропредприятий Северного Казахстана // Вестник науки КАТУ им.С.Сейфуллина, – 2020. №4. – С. 192-202

15 Мауина Г.М., Черткова Е.А., Айтимова У.Ж., Нукушева С.А. Эвристический подход выбора управленческих решений для агропредприятий Северного Казахстана // Вестник науки КАТУ им.С.Сейфуллина, – 2020. – №4. – С. 170-192

16 Подиновский В.В. Количественная важность критериев // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 5. – С. 110-123

17 Трансферт и адаптация технологий по точечному земледелию при производстве продукции растениеводства по принципу «демонстрационных хозяйств» (полигонов) в Северо-Казахстанской области [Текст]: отчет о НИР: / КАТУ им. С. Сейфуллина; рук. Куришбаев А.К. – Нур-Султан., 2019. – 349 с. № ГР 0118РК01393

18 Saaty, T.L., Kearns, K.P. Analytic Planning: The Organization of Systems. – New York: Pergamon Press, 1985.– 208 p.

## REFERENCES

1 Figueira J., Greco S., Ehrgott M. Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys. – New York: Springer Science & Business Media, 2005. – 1045 p.

2 Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process. – New York: McGraw-Hill, 1980. – 296 p.

3 Bruk B., Burkov V.N. Metody ekspertnyh ocenok v zadachah uporyadocheniya ob"ektov // Izvestiya AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika. 1972. № 3. S. 29-39

4 Bonczek R. H., Holsapple C., Whinston A. B. Foundations of decision support systems. N. Y.:Academic Press, 1981.

5 Sprague R. H., Carlson E. D. Building effective decision support svstems. EnglewoodCliffs, N. J.: Prentice-Hall, 1982.

6 Sharda R., Bair S., McDonnell J. Decision support systems effectiveness: A review and anempirical test // Management Science. 1988. Vol. 34. № 2. P. 139–159.

7 Kravchenko T.K., Seredenko N.N. Sozdanie sistem podderzhki prinyatiya reshenij: integraciya preimushchestv otdel'nyh podhodov / Iskustvennyj intellekt i prinyatie reshenij. 2012, № 1

8 Ismailova A.A. Informacionno-analiticheskaya sistema issledovaniya vodnyh ekosistem (na primere ozer Kazahstana): dis. ... dok. filos. (PhD): 6D070300.– Astana. 2014. – 108 s.

9 Sabitova D.S. Razrabotka informacionno-analiticheskoy sistemy volnovykh processov v odnorodnyh sredah: dis. ... dok. filos. (PhD): 6D070300. – Nur-Sultan. 2020. – 112 s.

10 Nurusheva A.M. Programmnye sredstva, podhody i mery obespecheniya nadezhnosti funkcionirovaniya informacionnyh sistem: dis. ... dok. filos. (PhD): 6D070300. – Nur-Sultan. 2020. – 150 s.

11 AHP Software for Decision Making and Risk Assessment / <https://www.expertchoice.com/2021>.

12 Transparent Choice / <https://www.transparentchoice.com/>

13 Super Decisions / <https://www.superdecisions.com/>

14 Mauina G.M., Chertkova E.A., Ajtimova U.ZH., Nukusheva S.A. Konceptii i modeli prinyatiya upravlencheskih reshenij dlya agropredpriyatij Severnogo Kazahstana // Vestnik nauki KATU im.S.Sejfullina, – 2020. №4. – S. 192-202

15 Mauina G.M., Chertkova E.A., Ajtimova U.ZH., Nukusheva S.A. Evristicheskij podhod vybora upravlencheskih reshenij dlya agropredpriyatij Severnogo Kazahstana // Vestnik nauki KATU im.S.Sejfullina, – 2020. – №4. – S. 170-192

16 Podinovskij V.V. Kolichestvennaya vazhnost' kriteriev // Avtomatika i telemekhanika. – 2000. – № 5. – S. 110-123

17 Transfert i adaptaciya tekhnologij po tochechnomu zemledeliyu pri proizvodstve produkcii rastenievodstva po principu «demonstracionnyh hozyajstv» (poligonov) v Severo-Kazahstanskoj oblasti [Tekst]: otchet o NIR: / KATU im. S. Seifullina; ruk. Kurishbaev A.K. – Nur-Sultan., 2019. – 349 s. № GR 0118RK01393

18 Saaty, T.L., Kearns, K.P. Analytic Planning: The Organization of Systems. – New York: Pergamon Press, 1985.– 208 p.

**G. M. MAUINA<sup>1\*</sup>, E. A. CHERTKOVA<sup>2</sup>, V. S. KARPOV<sup>3</sup>, S. A. NUKUSHEVA<sup>1</sup>,  
U. ZH. AYTIMOVA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan;*

<sup>2</sup>*National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*State Corporation "Deposit Insurance Agency", Moscow, Russia*

## **INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM OF DECISION-MAKING SUPPORT FOR AGRICULTURAL ENTERPRISES OF NORTHERN KAZAKHSTAN**

*This article presents a description of the developed information and analytical decision support system for choosing the optimal production scenario for an agricultural enterprise - IAS PPR Kazagro Choice. The problem of making managerial decisions on scenarios for the production of agricultural enterprises in Northern Kazakhstan is due to the presence of many criteria (parameters) of production and market conditions. The correctness of the consideration of the criteria predetermines the quality of management decision-making according to the preferred scenario for the functioning of an agricultural facility. The IAS PPR Kazagro Choice contains the concept of finding the best (optimal) production scenario among all possible alternative scenarios. The development of IAS PPR Kazagro Choice is based on the author's mathematical model with a dominant hierarchy of the problem of choosing a production scenario and on the implementation of the hierarchy analysis method. IAS PPR Kazagro Choice makes it possible for a decision-maker to choose a preferred (optimal) scenario for the production of an agricultural enterprise in conditions of multifactorial influence and the availability of expert information. Distinctive characteristics of IAS PPR Kazagro Choice: focus on solving poorly structured problems; combination of traditional methods of access and processing of computer data with the capabilities of mathematical modeling. The specific applied value of the work lies in the possibility of using an adaptive implementation model for making managerial decisions on the choice of the preferred production scenario for a wide range of agricultural enterprises.*

**Key words:** multicriteria tasks; influence criteria; method of analyzing hierarchies; hierarchy of systems; making decisions.

**Г. М. МАУИНА<sup>1\*</sup>, Е. А. ЧЕРТКОВА<sup>2</sup>, В. С. КАРПОВ<sup>3</sup>,  
С. А. НУКУШЕВА<sup>1</sup>, У. Ж. АЙТИМОВА<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті,  
Нұр-Сұлтан, Қазақстан;*

<sup>2</sup>*Ұлттық зерттеу университеті Жоғары экономика мектебі,  
Мәскеу, Ресей*

<sup>3</sup>«Депозиттерге кепілдік беру агенттігі» Мемлекеттік корпорациясы,  
Мәскеу қ., Ресей

## СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ АГРАРЛЫҚ КӘСІПОРЫНДАРЫ ҮШІН ШЕШІМДЕР ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУДЫҢ АҚПАРАТТЫҚ-ТАЛДАМАЛЫҚ ЖҮЙЕСІ

Бұл мақалада ауыл шаруашылығы кәсіпорны үшін оңтайлы өндірістік сценарийді таңдауға арналған әзірленген ақпараттық-талдамалық шешімдерді қолдау жүйесінің сипаттамасы берілген – IAS PPR Kazagro Choice. Солтүстік Қазақстандағы ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының өндірісінің сценарийлері бойынша басқарушылық шешімдерді қабылдау мәселесі өндіріс пен нарық конъюнктурасының көптеген критерийлерінің (параметрлерінің) болуына байланысты. Критерийлерді қарастырудың дұрыстығы ауыл шаруашылығы объектісінің жұмыс істеуінің қолайлы сценарийі бойынша басқару шешімдерін қабылдау сапасын алдын ала анықтайды. IAS PPR Kazagro Choice барлық ықтимал альтернативті сценарийлердің ішінен ең жақсы (оңтайлы) өндіріс сценарийін табу тұжырымдамасын қамтиды. IAS PPR Kazagro Choice әзірлеуі өндірістік сценарийді таңдау мәселесінің басым иерархиясы бар авторлық математикалық моделіне және иерархиялық талдау әдісін жүзеге асыруға негізделген. IAS PPR Kazagro Choice шешім қабылдаушыға көп факторлы әсер ету және сараптамалық ақпараттың қолжетімділігі жағдайында ауыл шаруашылығы кәсіпорны өндірісінің қолайлы (оңтайлы) сценарийін таңдауға мүмкіндік береді. IAS PPR Kazagro Choice ерекшелігі: нашар құрылымдалған мәселелерді шешуге бағдарлау; компьютерлік деректерге қол жеткізу мен өңдеудің дәстүрлі әдістерінің математикалық модельдеу мүмкіндіктерімен үйлесуі. Жұмыстың нақты қолданбалы құндылығы ауыл шаруашылығы кәсіпорындарының кең ауқымы үшін қолайлы өндірістік сценарийді таңдау бойынша басқарушылық шешімдерді қабылдау үшін бейімделген енгізу моделін пайдалану мүмкіндігінде жатыр.

**Түйін сөздер:** көп критерийлік тапсырмалар; әсер ету критерийлері; иерархияларды талдау әдісі; жүйелер иерархиясы; шешімдерді қабылдау.



**Б. Б. ОРАЗБАЕВ<sup>1</sup>, Ж. Ж. МОЛДАШЕВА<sup>1\*</sup>, Л. Л. ЛА<sup>1</sup>, К. Н. ОРАЗБАЕВА<sup>2</sup>,  
Ж. Н. ТУЛЕУОВ<sup>3</sup>, Б. Е. УТЕНОВА<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,  
г.Нур-Султан, Казахстан,

<sup>2</sup> Казахский университет экономики, финансов и международной торговли,  
г.Нур-Султан, Казахстан,

<sup>3</sup> Атырауский нефтеперерабатывающий завод,  
г.Атырау. Казахстан

<sup>4</sup> Атырауский университет нефти и газа имени С. Утебаева,  
г.Атырау. Казахстан

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ СТАНЦИИ ПОДОГРЕВА НЕФТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ НЕФТЕПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

*Исследованы проблемы построения математических моделей технологических объектов на примере трубчатых печей станции подогрева. На основе проведенных исследований транспортировки высоковязких нефтей по трубопроводам описана принципиально-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти. На основе модификации методов структурной и параметрической идентификации предложен алгоритм разработки моделей технологических объектов, характеризуемые нечеткостью выходных параметров. Предлагаемый алгоритм позволяет на основе множества уровня  $\alpha$  теорий нечетких множеств адаптировать методов последовательного включения регрессоров и наименьших квадратов для работы в нечеткой среде. С помощью экспериментально-статистических методов и предлагаемого алгоритма разработаны модели трубчатых печей станции подогрева нефти. При этом модели, описывающие значения температуры и давления на выходе объекта, построены в виде регрессионных моделей, а модель оценки производительности построена в виде нечеткой модели. Для идентификации параметров моделей определения температуры и давления станции подогрева нефти использован метод наименьших квадратов, а для идентификации нечетких параметров оценки производительности станции исследуемой станции использован модифицированный метод наименьших квадратов. Новизна предлагаемого подхода к построению эффективных моделей в условиях нечеткости некоторой части исходной информации заключается в использовании математического аппарата теорий нечетких множеств, позволяющего использовать доступную нечеткую информацию в виде знания, опыта и интуиции экспертов. Это в свою очередь позволяет разработать более адекватных моделей в условиях нечеткости исходной информации.*

**Ключевые слова:** математическая модель, станция подогрева нефти, высоковязкая нефть, магистральный нефтепровод, нечеткая информация, нечеткая модель, перекачка нефти.

**Введение.** Нефти, добываемые в месторождения Узень Мангышлакского полуострова, относятся к высоковязким и парафиносытым нефтям с содержанием парафинов до 6%, содержащие в своих составах много смол и асфальтенов. Запасы высоковязких нефтей полуострова Мангышлак и других регионов рассматриваются в качестве одного из важного составляющего сырьевой базы нефтяных запасов Казахстана [1].

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [Zhadira1985@mail.ru](mailto:Zhadira1985@mail.ru)

Для разработки этих месторождений применяются нетрадиционные методы извлечения нефти из пласта, подготовки и транспортировки по магистральным нефтепроводам до потребителей. Состояние нефтедобычи на месторождениях Узень в настоящее время является стабильным, имеет перспективу дальнейшего роста добычи нефти. Транспортировка высоковязких нефтей месторождения Узень осуществляется магистральным «горячим» нефтепроводом Узень-Актау-Атырау-Самара с протяженностью 1450 км. [2, 3].

Проанализируем основных технологий транспортировки высоковязких нефтей [4 – 7]. Следует отметить, при транспортировке высоковязких нефтей по трубопроводам возникает ряд проблем, связанные со значительными потерями энергии на трение, необходимостью промежуточных подогревов и пуско-остановочных операций из-за реологических свойств высоковязких нефтей и их физико-химического состава, которые зависят от температуры и режима течения. В работах [4, 5] исследованы способы и технологии транспортировки высоковязких нефтей, по трубопроводам, которые основаны на перекачке высоковязких нефтей по низковязкому пристенному слою с использованием методов волновых и тепловых воздействия, а также с использованием маловязких углеводородных разбавителей. А в работах [6, 7] исследованы особенности трубопроводного транспорта высокозастывающих нефтей, связанные их реологическими свойствами и способы регулирования этих свойств на основе комплексных методов воздействия.

На практике известно множество методов перекачки нефтей, в том числе высоковязких нефтей. Так как нефти характеризуется разнообразными свойствами, из-за геокриологических и климатических условий функционирования нефтепроводов, а также производительности и протяженности трубопроводов каждый из методов перекачки нефти имеют свои преимущества и недостатки. Поэтому невозможно выделить одного универсального метода, обеспечивающего эффективную транспортировку любых высоковязких и парафинистых нефтей. В связи с этим в каждом отдельном случае задача выбора эффективного метода, технологии транспортировки высоковязкой нефти по магистральным трубопроводам является непростой проблемой, которая требует технико-экономического обоснование.

Таким образом, технологии транспортировки высоковязких нефтей можно классифицировать в зависимости от изменения реологических характеристики и используемых при изменении реологических свойств методов. В зависимости от изменения реологических характеристик перекачиваемой нефти:

1) Транспортировка без изменения реологических характеристик перекачиваемой нефти, которая в свою очередь классифицируются на подклассы транспортировки: с использованием механических устройств; с уменьшением шероховатости и/или геометрии трубопровода; последовательная перекачка нефтей; транспорт с газом или гидротранспорт.

2) Транспортировка с изменением реологических характеристик перекачиваемой нефти, которая в зависимости используемого метода: изменение реологических характеристик химическим методом (депарафинизация, деасфальтизация или термодеструкция); изменение реологических характеристик физическим методом (термообработка, изотермическое разрушение и повышение температуры перекачиваемой

нефти). Метод изменения реологических характеристик нефти с повышением ее температуры бывает: с помощью печей подогрева станция подогрева нефти (СПН); с помощью трубопроводов-спутников (с соответствующей температурой); за счет электрообогрева. В последнее время предлагаются методы повышения температуры с использованием солнечной энергии [8]. Изменение реологических характеристик физико-химическим методом разделяется на методы с использованием поверхностно-активных присадок и с использованием разбавителей.

Объектом исследования данной работы является СПН пункта Атырау магистрального нефтепровода Узень-Актау-Атырау-Самара, по которому транспортируется высоковязкая нефть Узеньских месторождений. Магистральный нефтепродуктопровод для транспортировки высоковязких нефтей (горячий нефтепровод) является единым производственно-технологическим комплексом, который включает трубопроводов, станции подогрева и перекачки нефти, а также других объектов. Данный комплекс предназначен для обеспечения транспортировки, приема и сдачи нефти от подводящих нефтепроводов с места добычи, до конечных пунктов, т.е. до потребителей [9]. Самым эффективным и экологически безопасным методом транспортировки среди известных методов нефтетранспортировки являются магистральные нефтепроводы [10]. СПН пункта Атырау обеспечивает бесперебойную работу трубчатых печей типа «Г9П02В», предназначенных для подогрева нефти и других сооружений, входящих в ее состав, а также обеспечивает оптимальный режим работы нефтепровода. При этом одна печь за 1 час нагревает 300–600 м<sup>3</sup> нефти от температуры 35–40 °С до 70 °С.

Известен ряд работ, например, [11 – 13] и другие, посвященные исследованию вопросов моделирования СПН и оптимизации их режимных параметров. Однако в них в основном исследованы физико-химические основы процесса нагрева сырья, разрабатываются детерминированные, статистические математические модели печей. В проанализированных исследованиях не рассмотрены вопросы моделирования печей СПН при нечеткости некоторой части исходной информации. Так как объект исследования, т.е. СПН пункта Атырау характеризуется нечеткостью некоторой исходной информации, проблемы разработки моделей таких объектов в условиях нечеткости исходной информации является весьма актуальной задачей науки и технологии транспортировки нефти.

В этой связи в качестве цели исследования данной работы сформулирована как: разработка моделей СПН «горячего» нефтепровода с учетом и использованием исходной нечеткой информации.

Для обеспечения достижения сформулированной цели поставлены и решены следующие задачи исследования:

- исследовать и описать принципиально-технологическую схему «горячей перекачки» высоковязкой нефти;
- разработать алгоритм построения моделей в условиях нечеткости выходных параметров объекта;
- разработать модели трубчатых печей СПН в условиях нечеткости некоторой исходной информации.

**Методы и материалы исследования.** Для сбора и обработки измеряемой статистической информации о технологических параметрах используются методы мате-

матической статистики и теорий вероятностей [14, 15], а для сбора и формализации нечеткой информации о неизмеряемых показателях СПН используются методы экспертных оценок и теорий нечетких множеств [16, 17].

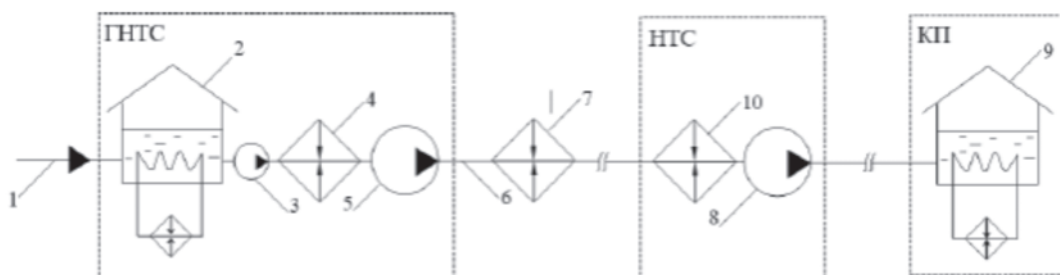
Принцип функционирования СПН основывается на сжигания жидких или газообразных топлив в горелках камеры радиации трубчатых печей. В процессе сжигания пламя, направленная на настильную стену, будет излучать тепло трубам змеевика печи, по которому циркулирует перекачиваемая нефть, т.е. производится передача тепла к нефти методом радиации. А в конвекционной камере печи горячие дымовые газы проходят через змеевики трубчатой печи и отдает тепло на основе метода конвекции.

Значения температуры, давления и некоторых других параметров процесса подогрева обычно количественно определяются с помощью различных измерительных средств. При этом имеющие неточности, связанные с воздействиями случайных факторов, разрешаются на основе методов теории вероятности. Но некоторые важные показатели, оценивающие качество работы СПН, например, производительность, экологического состояния производства часто определить одним числом невозможно или очень сложно. Обычно на практике такие показатели оцениваются нечетко на основе опыта, знания и интуиции опытного персонала, человека-оператора, которые долгие годы работают на этом объекте. В процессе наблюдения и управления такими объектами у них в голове формализуется некая модель объекта, по которой они могут на естественном языке, могут нечетко описать работы и оценить неизмеримых показателей производства. Например, качество работы, экологическое состояние производства могут быть описаны человеком-оператором с такими нечеткими ограничениями, как: «не более», «не менее» и т.д. Следовательно, для построения математических моделей, описывающие зависимость нечетких показателей производства от входных, режимных параметров приходится разработать модели с учетом нечеткости некоторых параметров на основе методов экспертной оценки и математического аппарата теорий нечетких множеств.

**Результаты и их обсуждение.** Приводим результаты исследования в соответствии с поставленными задачами исследования.

**Принципиально-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти.** Технология «горячей» перекачки предназначена для транспортировки высоковязкой нефти по магистральным нефтепроводам. В данной технологии предусмотрен нагрев перекачиваемой нефти перед закачкой ее в нефтепровод, далее периодический подогрев нефти производится при остывании нефти до заданной температуры в процессе транспортировки. Принципиальную схему «горячей» перекачки можно представить, как на рисунке 1.

Добываемая нефть по нефтепроводу 1 подается в резервуары с подогревательными устройствами 2 ГНТС, поддерживающие температуру, которая позволяет выкачать нефть с помощью подводящего насоса 3. Далее нефть с помощью подпорными насосами перекачивается и подаётся на вход НПС, т.е. магистральных насосов 5. Этими магистральными насосами транспортируемая нефть закачивается в линейную часть магистрального нефтепровода 6. В процессе транспортировки высоковязкой нефти из-за теплообмена с окружающей средой происходит остывания нефти, и чтобы под-



**Рисунок 1** – Предложенная принципно-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти

1 – нефтепровод, подводящий нефти из промысла; 2, 9 – резервуары начального и конечного пунктов; 3 – подводящий насос; 4, 7, 10 – СПН с трубчатыми печами; 5, 8 – нефтеперекачивающая станция (НПС - насосы); 6 – магистральный нефтепровод; ГНТС – головная СПН и НПС; НТС – насосно-тепловая станция; КП – конечный пункт

держат необходимую температуру нефти в расстояниях от 25 до 100 км подогреваются на промежуточных СПН. Потом нефть поступает на промежуточную НПС 8. Эти НПС также оборудованы подогревателями нефти и далее все это повторяется до поступления нефти в резервуары 9 КП, которые также оборудованы системой подогрева нефти.

При транспортировке высоковязкой нефти по трубопроводу температура нефти должна быть достаточно высокой, не выше 100 °С, чтобы среда была текучей, что обеспечивает оптимальную перекачку такой нефти.

**Алгоритм построения моделей в условиях нечеткости выходных параметров объекта.** Алгоритм построения нечетких моделей в этих условиях разработан на основе модификации методов последовательного включения регрессоров (для определения структуры модели) и наименьших квадратов (для параметрической идентификации нечетких коэффициентов) с помощью математического аппарата теорий нечетких множеств. Основными шагами алгоритма построения моделей в условиях нечеткости выходных параметров объекта являются:—

Шаг 1. Определение и выбор входных  $x_i \in X, i = \overline{1, n}$  и  $\tilde{y}_j \in \tilde{B}_j, \tilde{B}_j \in Y, j = \overline{1, m}$  выходных параметров объекта. В этом шаге на основе системного анализа выбираются измеряемые входные, режимные параметры, влияющие на качество работы объекта, оцениваемые выходными нечеткими параметрами.

Шаг 2. Сбор и обработка статистических данных и нечеткую информацию от экспертов. На основе экспертных процедур определить терм-множество, описывающих нечеткие выходные параметры.

Шаг 3. Идентификация структуры нечетких регрессионных моделей, описывающие связь между входными, режимными и выходными параметрами объекта, например, на основе идеи метода последовательного включения регрессоров:

$$\tilde{y}_j = f_j(x_1, \dots, x_n, \tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_n), j = \overline{1, m}.$$

Шаг 4. Построение функции принадлежности нечетких параметров. На основе практического опыта при построении этих функций рекомендуется использовать экс-

понижающую зависимость типа гауссова функции с настраиваемыми коэффициентами:

$$\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j) = \exp(Q_{B_j}^p \left| (y_j - y_{md_j})^{N_{B_j}^p} \right|). \quad (1)$$

В данном выражении:  $\mu_{B_j}^p(\tilde{y}_j)$  – функция принадлежности нечетких выходных параметров  $\tilde{y}_j$ , принадлежащего нечеткому подмножеству  $\tilde{B}_j$ ;  $p$  – номер термина из терм-множества;  $Q_{B_j}^p$  – коэффициент грубой настройки формы функции принадлежности, определяемый при идентификации функции и описываемый уровень нечеткости;  $N_{B_j}^p$  – коэффициент тонкой настройки формы функции принадлежности;  $y_{md_j}^p$  – нечеткая переменная, наиболее соответствующая заданному терму, которая определяется из условия  $\mu_{B_j}^p(y_{mdi}) = \max_j \mu_{B_j}^p(y_j)$ . Здесь можно выбрать наиболее соответствующий вид функции принадлежности с помощью приложения Fuzzy Logic Toolbox системы MatLab.

Шаг 5. Определение значения нечетких коэффициентов регрессии модели (1) на основе модифицированного метода параметрической идентификации. Здесь параметрическую идентификацию можно произвести с помощью модифицированного метода наименьших квадратов (МНК) на основе множества уровня  $\alpha$ .

Шаг 6. Проверка адекватности модели. В качестве критерия адекватности можно использовать условие:  $R = \min \sum_{j=1}^m (y_j^M - y_j^E)^2 \leq R_D$ , где  $y_j^M$  – расчетные значения выходных параметров, определенные с помощью модели;  $y_j^E$  – реальные значения выходных параметров, определенные экспериментальным путем;  $R_D$  – величина допустимого отклонения.

Если условие адекватности модели не выполняется, то выясняется причина неадекватности и для устранения этих причин и обеспечения адекватности необходимо вернуть обратно к соответствующему шагу алгоритма. При этом могут быть различные причины неадекватности модели, например, ошибки при идентификации структуры модели, некоторые важные параметры, влияющие на процесс могут быть не включены в структуру, ошибки при идентификации параметров модели и т.д. В условиях достижения адекватности модель рекомендуется для исследования и оптимизации режимов работы объекта.

**Модели трубчатых печей СПН в условиях нечеткости некоторой исходной информации.** На основе вышепредложенного алгоритма разрабатываем модели печи подогрева СПН в условиях нечеткости некоторой части исходной информации.

Для построения моделей СПН трубчатых использованы статистические данные о входных, режимных параметрах и нечеткая информация, характеризующая производительность объекта, полученная на основе методов экспертной оценки от экспертов в виде их знания, опыта и интуиции.

Нечеткая модель, оценивающая производительность СПН, которая построена на основе предложенного алгоритма имеет структуру нечеткого уравнения регрессии



(2), а модели, описывающие температуру и давления на выходе СПН, идентифицированы в виде уравнения множественной регрессии (3):

$$\tilde{y}_1 = \tilde{a}_{01} + \tilde{a}_{11}x_{11} + \tilde{a}_{21}x_{21} - \tilde{a}_{31}x_{31} + \tilde{a}_{41}x_{41} + \tilde{a}_{51}x_{11}^2 + \tilde{a}_{61}x_{21}^2 - \tilde{a}_{71}x_{31}^2 + \tilde{a}_{81}x_{41}^2 + \tilde{a}_{91}x_{31}x_{41}, \quad (2)$$

$$C_j = 0_{0j} + 0_{1j}x_{1j} + 0_{2j}x_{2j} + 0_{3j}x_{3j} + 0_{4j}x_{4j} + 0_{5j}x_{1j}^2 + 0_{6j}x_{2j}^2 + 0_{7j}x_{1j}x_{2j}, j = 2, 3. \quad (3)$$

В этих моделях:  $\tilde{y}_1$  – нечеткая оценка производительности СПН;  $y_j, j = 2, 3$  – значения температуры и давления на выходе СПН;  $\tilde{a}_{01}, \tilde{a}_{11}, \dots, \tilde{a}_{91}, a_{1j}, a_{1j}, \dots, a_{6j}$  – идентифицируемые коэффициенты моделей (2) и (3);  $x_{1j}, x_{2j}, x_{3j}, x_{4j}$  – соответственно температура, давление, объем топлива и нефти на входе СПН.

Для идентификации нечетких коэффициентов регрессии  $\tilde{a}_{01}, \tilde{a}_{11}, \dots, \tilde{a}_{91}$  использованы модифицированный для нечеткости на основе множества уровня  $\alpha$  МНК. В этом методе в качестве критерия адекватности используется условие:  $\tilde{R}_j = \min \sum_{l=1}^k (\tilde{y}_{jl}^E - \tilde{y}_{jl}^M)^2$ , где  $\tilde{R}_j$  – нечеткая функция, минимизирующая разницу между  $\tilde{y}_{jl}^E$  – нечетким значением данного выходного параметра и  $\tilde{y}_{jl}^M$  – нечетким выходным параметром, оцененного с помощью нечеткой модели (2).

На основе модифицированного МНК для нечеткой среды произведены идентификация нечетких коэффициентов регрессии  $\tilde{a}_{01}, \tilde{a}_{11}, \tilde{a}_{21}, \dots, \tilde{a}_{91}$  – нечеткой модели оценки производительности СПН (2). Для этого нечеткие параметры  $\tilde{a}_{ij}$  проведены  $\alpha$  срезы функции принадлежности параметров на уровнях  $\alpha = 0,5; 0,85; 1$  и на этих уровнях определены значения производительности. В этом случае на указанных  $\alpha$  уровнях представляются числовыми значениями. Нечеткую модель оценки производительности СПН для каждого  $\alpha_q, q = \overline{1,3}$  перепишем как набор четких моделей на  $\alpha$  уровнях:

$$y_{1SPN}^{\alpha_q} = a_{01}^{\alpha_q} + a_{11}^{\alpha_q}x_{11} + a_{21}^{\alpha_q}x_{21} - a_{31}^{\alpha_q}x_{31} + a_{41}^{\alpha_q}x_{41} + a_{51}^{\alpha_q}x_{11}^2 + a_{61}^{\alpha_q}x_{21}^2 - a_{71}^{\alpha_q}x_{31}^2 + a_{81}^{\alpha_q}x_{41}^2 + a_{91}^{\alpha_q}x_{31}x_{41}, q = \overline{1,3}; \quad (4)$$

Так как полученные уравнения представляют собой обычные уравнения множественной регрессии для идентификации их параметров, можно использовать известные методы параметрической идентификации, например, МНК. В данной работе для идентификации коэффициентов регрессии для каждого  $\alpha$  уровня использован пакет программ REGRESS, в котором реализован МНК для произвольного количества параметров.

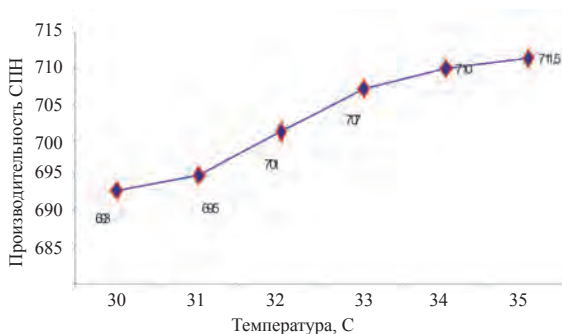
В результате влияния входных параметров  $x_i, i = \overline{1,4}$  на производительности СПН  $\tilde{y}_{1SPN}$  для каждого  $\alpha$  уровня описываются следующим образом:

$$\tilde{y}_{1SPN} = \left( \frac{0.5}{2.000254727} + \frac{0.85}{2.007525117} + \frac{1}{2.088235294} + \frac{0.85}{2.175725157} + \frac{0.5}{2.787515357} \right) x_{11} +$$

$$\begin{aligned}
& + \left( \frac{0.5}{7.0010} + \frac{0.85}{7.01000} + \frac{1}{7.10000} + \frac{0.85}{7.101523567} + \frac{0.5}{7.156572378} \right) x_{21} - \\
& + \left( \frac{0.5}{5.005700} + \frac{0.85}{5.025000} + \frac{1}{5.680000} + \frac{0.85}{5.750000} + \frac{0.5}{5.950000} \right) x_{31} + \\
& + \left( \frac{0.5}{0.003700} + \frac{0.85}{0.055000} + \frac{1}{0.400000} + \frac{0.85}{0.450000} + \frac{0.5}{0.500000} \right) x_{41} + \\
& + \left( \frac{0.5}{0.0003787} + \frac{0.85}{0.0077253} + \frac{1}{0.0614187} + \frac{0.85}{0.0997334} + \frac{0.5}{0.1344578} \right) x_{41}^2 + \\
& + \left( \frac{0.5}{0.600000} + \frac{0.85}{0.650000} + \frac{1}{0.710000} + \frac{0.85}{0.760000} + \frac{0.5}{0.820000} \right) x_{21}^2 - \\
& - \left( \frac{0.5}{0.180300} + \frac{0.85}{0.2001000} + \frac{1}{0.227200} + \frac{0.85}{0.247200} + \frac{0.5}{0.267200} \right) x_{31}^2 + \\
& + \left( \frac{0.5}{0.0000037} + \frac{0.85}{0.0000775} + \frac{1}{0.0005634} + \frac{0.85}{0.0037355} + \frac{0.5}{0.0125574} \right) x_{41}^2 + \\
& + \left( \frac{0.5}{0.006000} + \frac{0.85}{0.007000} + \frac{1}{0.008000} + \frac{0.85}{0.009000} + \frac{0.5}{0.010000} \right) x_{31}x_{41}
\end{aligned}$$

В приведенной после параметрической идентификации модели регрессоры, которые очень слабо влияют или не влияют на производительность СПН, т.е. у которых коэффициенты 0 или около 0 с целью упрощения модели удалены.

В нижеприведенном рисунке 2 приведен график зависимости производительности СПН от температуры при постоянных значениях остальных входных параметров, полученный с помощью модели.



$x_2$  – давление на входе СПН – 10 кгс/см<sup>2</sup>;  
 $x_3$  – расход топлива в СПН – 25 кг/час;  
 $x_4$  – объем нефти на входе СПН – 710 т/час.

**Рисунок 2** – Зависимость производительности СПН от температуры  $\tilde{y}_{1SPN} = f_1(x_1)$  при постоянных значениях  $x_2, x_3, x_4$

*Обсуждение результатов.* Предложенный алгоритм позволяет разработать модели технологических объектов в условиях их четких входных и нечетких выходных параметрах. Алгоритм основан на модификации, т.е. адаптации методов структурной (последовательного включения регрессоров) и параметрической (наименьших квадратов) идентификации с помощью множества теорий нечетких множеств.

Полученные коэффициенты на  $\alpha$  уровнях разработанной модели для программной реализации объединяются в одно значение с помощью соответствующей формулы теорий нечетких множеств [18]. Таким образом, предложенный подход позволяет построить модели технологических объектов при нечеткости выходных параметров. Как показывают результаты моделирования, приведенные на рисунке 2 зависимость производительности от температуры нелинейная и позволяет определить наиболее оптимальное значение температуры в условиях ограничения на расходы сжигаемых топлив.

**Заключение.** В работе исследованы проблемы обеспечения эффективных режимов работы СПН при транспортировке высоковязкой нефти на основе метода математического моделирования. Предложен подход к разработке моделей СПН магистральных нефтепроводов в условиях нечеткости некоторой части исходной информации.

В соответствии с поставленными задачами исследования получены следующие основные результаты:

- 1) Исследованы и описана созданная принципиально-технологическая схема «горячей перекачки» высоковязкой нефти по магистральным нефтепроводам;
- 2) Разработан алгоритм построения моделей технологических объектов в условиях нечеткости выходных параметров исследуемого объекта;
- 3) Построены модели трубчатых печей СПН в условиях нечеткости выходного параметра, оценивающего производительность производства.

Новизна предлагаемого подхода к разработке моделей в условиях частичной нечеткости исходной информации заключается в модификации методов структурной и параметрической идентификации на основе математического аппарата теорий нечетких множеств. Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности построения более эффективных моделей в условиях нечеткости выходных параметров реальных технологических объектов.

**Благодарности.** Исследование финансируется Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант № AP08855680 - Интеллектуализированная система поддержки принятия решений для управления режимами работы установки каталитического риформинга).

## ЛИТЕРАТУРА

1 Агалаков Л.Н. Транспортировка высоковязких нефтей. – Международный научный форум: Технические и математические науки. – М.: Изд. «МЦНО». 2016. – № 6 (35) [электронный ресурс]. – режим доступа. - URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/6\(35\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6(35).pdf) (дата обращения: 28.08.2021).

2 Алдияров Р.Т. Разработка технологий теплового воздействия на пласты высоковязких нефтей месторождений Узень. – Алматы: 2015. – 175 с. <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=796925>

3 Муллаев Б.Т., Абитова А.Ж., Саенко О.Б., Туркпенбаева Б.Ж. «Месторождение Узень. Проблемы и решения». – Алматы: Нур-Принт, 2016. I том - 424 с.

4 Башкирцева Н.Ю., Сладовская О.Ю. Особенности транспортировки высоковязких нефтей. – Вестник Казанского технол. университета. 2017. №3, – С. 457-459.

5 Родин А.А. Оптимизация транспорта высоковязких нефтей с подогревом и с применением углеводородных разбавителей. – М.: 2017. – 137 с.

6 Алиев Р.А. Особенности трубопроводного транспорта высокозастывающих нефтей. – М.: ВНИИОЭНГ, 2018. – 128 с.

7 Банатов В.В. Реологические свойства вязких нефтей и нефтепродуктов и их регулирование комплексными методами воздействия. – Тюмень, 2003. – 164 с.

8 Куанышев Б.И. Влияние солнечной энергии на превращения углеводородов нефти. Автореферат дисс. на соискание ученой степени кандидата наук. – Атырау: – 2007. – 26 с.

9 Родин А.А. Оптимизация транспорта высоковязких нефтей с подогревом и применением углеводородных разбавителей. Автореферат дисс. на соискание ученой степени кандидата наук. – М.: 2017.– 28 с.

10 Вайншток С.М. Трубопроводный транспорт нефти. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр». 2002. – 407 с.

11 Арсланов А.А. Математические модели трубчатых печей. – М.: 2017. – 147 с.

12 Бровкин Л.А., Коротин А.Н., Крылов Л.В. и др. Математическое моделирование и проектирование промышленных печей. – Иванова: ИГУ, 1999.– 358 с.

13 Арутянов В.А., Бухмиров В.В., Крупеников С.А. Математическое моделирование тепловой работы промышленных печей. – Изд. 2-е. – М.: Металлургия, 2012. – 245 с.

14 Карманов Ф.И., Острейковский В.А. Статистические методы обработки экспериментальных данных с использованием пакета MathCad. – М.: Инфра-М, 2017. – 287 с.

15 Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: 12-е изд., перераб. – М.: Высшее образование, 2016. – 479 с.

16 Гуцыкова С. Метод экспертных оценок. Теория и практика. – М.: Когито-Центр. 2017. – 509 с.

17 Ryzhov A.P. The theory of fuzzy sets and its applications. – М: MSU. 2017. – 115 p.

18 B.B. Orazbayev, T.S. Kenzhebayeva and K.N. Orazbayeva Development of Mathematical Models and Modelling of Chemical Technological Systems using Fuzzy-Output Systems // Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal, 2019. V, 13, No. 4, - P. 653-664.

## REFERENCES

1 Agalakov L.N. Transportation of high-viscosity oils // International Scientific Forum: Technical and Mathematical Sciences. –М.: Ed. "MCNO". 2016. – No 6 (35) / [electronic resource]. – access mode. – URL: [https://nauchforum.ru/archive/MNF\\_tech/6\(35\).pdf](https://nauchforum.ru/archive/MNF_tech/6(35).pdf) (date accessed: 28.08.2021). [in Russian]

2 Aldiyarov R.T. Development of technologies for thermal impact on the formations of high-viscosity oils of the Uzen fields // -Almaty: 2015. -175 p. <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=796925> [in Russian]

3 Mullaev B.T., Abitova A.Zh., Saenko O.B., Turkpenbaeva B.Zh. "Uzen deposit. Problems and Solutions ". –Almaty: Nur-Print, 2016. I volume – 424 p. [in Russian]

4 Bashkirtseva N.Yu., Sladovskaya O.Yu. Features of transportation of high-viscosity oils // Bulletin of Kazan tekhno. university. 2017. No. 3, – P. 457- 459. [in Russian]

5 Rodin A.A. Optimization of transportation of high-viscosity oils with heating and using hydrocarbon diluents. –М.: 2017. – 137 p. [in Russian]

- 6 Aliev R.A. Features of pipeline transportation of highly solidifying oils. –M .: VNIIOENG, 2018. – 128 p. [in Russian]
- 7 Banatov V.V. Rheological properties of viscous oils, petroleum products, and their regulation by complex methods of exposure. – Tyumen, 2003. – 164 p. [in Russian]
- 8 Kuanyshev B.I. Influence of solar energy on the conversion of hydrocarbons to petroleum. // Abstract dissertation. for the degree of candidate of sciences. –Atyrau: – 2007. – 26 p. [in Russian]
- 9 Rodin A.A. Optimization of the transport of high-viscosity oils with heating and the use of hydrocarbon diluents. Abstract of thesis. diss. for the degree of candidate of sciences. –M: 2017. –28 p. [in Russian] [in Russian]
- 10 Vainshtok S.M. Pipeline transportation of oil. –M .: LLC "Nedra-Business Center". 2002. – 407 p. [in Russian]
- 11 Arslanov. A.A. Mathematical models of tube furnaces. -M .: 2017.-147 p. [in Russian]
- 12 Brovkin L.A., Korotin A.N., Krylov L.V. and other Mathematical modeling and design of industrial furnaces. - Ivanova: ISU, 1999. - 358 p. [in Russian]
- 13 Arutyanyan V.A., Bukhmirov V.V., Krupenikov S.A. Mathematical modeling of the thermal performance of industrial furnaces. - Ed. 2nd. –M .: Metallurgy, 2012.– 245 p. [in Russian]
- 14 Karmanov F.I., Ostreykovsky V.A. Statistical methods for processing experimental data using the MathCad package. - M .: Infra-M, 2017. –287 p. [in Russian]
- 15 Gmurman V.E. Probability theory and mathematical statistics: 12th ed., Rev. – M .: Higher education, 2016 .-- 479 p. [in Russian]
- 16 Gutsykova S. Method of expert assessments. Theory and practice. –M .: Kogito-Center. 2017. – 509 p. [in Russian]
- 17 Ryzhov A.P. The theory of fuzzy sets and its applications. – M: MSU. 2017. – 115 p.
- 18 B.B. Orazbayev, T.S. Kenzhebayeva and K.N. Orazbayeva Development of Mathematical Models and Modelling of Chemical Technological Systems using Fuzzy-Output Systems // Applied Mathematics & Information Sciences An International Journal, 2019. V, 13, No. 4, – P. 653-664.

**Б. Б. ОРАЗБАЕВ<sup>1</sup>, Ж. Ж. МОЛДАШЕВА<sup>1</sup>, Л. Л. ЛА<sup>1</sup>, К. Н. ОРАЗБАЕВА<sup>2</sup>,  
Ж. Н. ТУЛЕУОВ<sup>3</sup>, Б. Е. УТЕНОВА<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,  
Нур-Сұлтан қ., Қазақстан,

<sup>2</sup>Қазақ экономика және халықаралық сауды университеті,  
Нур-Сұлтан қ., Қазақстан,

<sup>3</sup>Атырау мұнай өңдеу зауыты, Атырау қ., Қазақстан,

<sup>4</sup>С.Өтебаев атындағы Атырау мұнай және газ университеті, Атырау қ. Қазақстан

## **КАТАЛИТИКАЛЫҚ РИФОРМИНГ ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ГИДРОТАЗАЛАУ ПРОЦЕСІН БАСҚАРУ БОЙЫНША АЙҚЫН ЕМЕС ОРТАДА ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУ ЕСЕБІ ЖӘНЕ ОНЫ ШЕШУ ТӘСІЛІН ЖАСАҚТАУ**

*Айқын емес ортада гидротазалау процесін басқару бойынша шешім қабылдау есептерін тұжырымдау және шешу проблемалары зерттеліп, мамандарды қатысуымен, олардың тәжірибесін, білімі мен интуициясын қолдана отырып, осындай есептерді шешудің тиімді тәсілі ұсынылған. Гидротазалау реакторында болатын және алғашқы ақпараттың айқынсыздығымен сипатталатын гидротазалау процесін басқару есебігің математикалық қойылымы гидротазалау*

лау реакторының оптималды жұмыс режимін таңдау бойынша шешім қабылдау есебі түрінде алынған. Басқару критерийлері ретінде өндірілетін өнім, яғни гидрогенизат көлемін максимизациялау және оның сапалық сипаттамаларын жақсарту минимизациялау алынған. Айқын емес ортада гидротазалау процесін басқару үшін шешім қабылдау есебінің математикалық қойылымында және оларды шешу тәсілін құруда бас критерий мен максимум принциптерінің идеялары оларды айқынсыздықта жұмыс жасауға бейімдеу арқылы қолданылды. Айқын емес ортада гидротазалау процесін басқару бойынша шешім қабылдау есебін шешу үшін эвристикалық әдіс жасақталды. Айқын емес ортада басқару есебін қою мен оны шешу үшін ұсынылған тәсілдеменің жаңалығы айқын емес ақпаратты максималды қолданылуы арқылы айқынсыздықта қабылданған шешімнің адекваттығының артуында.

**Түйін сөздер:** шешім қабылдау, басқару, гидротазалау процесі, гидротазалау реакторы, гидрогенизация, эвристикалық тәсіл, шешім қабылдаушы тұлға.

**B. ORAZBAYEV<sup>1</sup>, ZH. MOLDASHEVA<sup>1</sup>, L. LA<sup>1</sup>, K. ORAZBAYEVA<sup>2</sup>,  
ZH. TULEUOV<sup>3</sup>, B. UTENOVA<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>L.N. Gumilev Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh University of Economics, Finance and International Trade, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>3</sup>Atyrau Oil Refinery, Atyrau, Kazakhstan

<sup>4</sup>Atyrau Oil and Gaz University, Atyrau, Kazakhstan

## **PROBLEM OF DECISION-MAKING ON CONTROL OF THE PROCESS OF HYDRAULIC TREATMENT OF A CATALYTIC REFORMING PLANT IN A FUZZY MEDIUM AND DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ITS SOLUTION**

The problems of formulating and solving the problem of making decisions on the control of the hydrotreating process in a fuzzy environment are investigated and an effective method for solving such problems with the involvement of experts, their experience, knowledge and intuition is proposed. The statement of the problem of controlling the hydrotreating process, which takes place in the hydrotreating reactor and is characterized by the indistinctness of the initial information, is obtained in the form of the problem of making decisions on the choice of the optimal operating mode of the hydrotreating reactor. The management criteria were chosen to maximize the volume of production, i.e. hydrogenate, and improving the quality characteristics of the manufactured products. In the mathematical formulation of the decision-making problem for the management of the hydrotreating process in a fuzzy environment and the development of a method for its solution, the ideas of the principle of the main criterion and maximum were used by adapting them to work in a fuzzy environment. A heuristic method has been developed for solving the assigned decision-making tasks for controlling the hydrotreating process in a fuzzy environment. The originality and novelty of the applied approach to the formulation and solution of the decision-making problem in a fuzzy environment consists in increasing the adequacy of the decision made in a fuzzy environment due to the maximum use of the initial fuzzy information.

**Key words:** decision making problem, control, hydrotreating process, hydrotreating reactor, hydrogenate, heuristic method, decision maker.



**Е. Н. СЕЙТКУЛОВ\*, Р. М. ОСПАНОВ, Н. Н. ТАШАТОВ,  
Б. Б. ЕРГАЛИЕВА, Д. Ж. САТЫБАЛДИНА**

*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева,  
Нур-Султан, Казахстан*

## **НАБОР БЕЗУСЛОВНЫХ КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ S-БЛОКОВ**

*В работе проведена работа по систематизации и анализу основных критериев, которым должны удовлетворять S-блоки, чтобы обеспечить высокий уровень криптостойкости симметричных криптографических алгоритмов. Множество всех возможных критериев для их оценки можно разделить на безусловные и условные. К безусловным относятся критерии, которым S-блоки должны удовлетворять в обязательном порядке, чтобы обеспечить их стойкость к основным криптоаналитическим атакам. К условным относятся дополнительные критерии, которым S-блоки должны удовлетворять, чтобы сравнивать S-блоки, удовлетворяющие безусловным критериям. В работе представлен обоснованный выбор набора безусловных критериев, определяющих оптимальность S-блоков.*

**Ключевые слова:** S-блоки, таблица замен, криптография, симметричное шифрование, информационная безопасность, защита информации.

**Введение.** Обеспечение свойств информационной безопасности, таких как конфиденциальность, целостность и т.д. обычно предполагает использование симметричного шифрования. Поскольку симметричные криптографические преобразования обладают рядом преимуществ при практическом использовании с точки зрения их эффективности, скорости и надежности. S-блоки играют важную роль в обеспечении стойкости симметричных преобразований. В частности, криптографические свойства S-блоков напрямую влияют на стойкость шифров к различным криптоаналитическим атакам. Таким образом, генерация S-блоков с необходимыми криптографическими характеристиками является актуальной и важной задачей.

Большинство известных работ в области анализа и синтеза S-блоков для современных криптографических алгоритмов используют математический аппарат криптографических булевых функций. Математически S-блок определяется с помощью булевых функций и векторных булевых функций. В этом случае векторные булевые функции (S-блоки) представляются набором компонентных булевых функций, свойства которых характеризуют эффективность всего S-блока.

При выборе S-блоков для новых криптографических алгоритмов основными критериями являются нелинейность и дифференциальная равномерность. Дифференциальная равномерность является показателем стойкости против дифференциальной атаки. Нелинейность является показателем стойкости против линейной атаки. Алгебраическая степень и алгебраический иммунитет являются показателями стойкости против алгебраических атак. Ещё одним критерием является отсутствие циклов длины 1, т.е. неподвижных (фиксированных) точек. Существует и множество других критериев. До сих пор не была доказана необходимость большинства из критериев.

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [yerzhan.seitkulov@gmail.com](mailto:yerzhan.seitkulov@gmail.com)

Многие из них не применимы к блочным шифрам, но в то же время применяются в поточных шифрах. Современные критерии ориентированы на защиту от существующих видов криптоанализа: линейного, алгебраического и различных вариаций дифференциального. Еще один критерий связан с принадлежностью подстановок к различным классам эквивалентности векторных булевых функций. Этот критерий применим лишь в том случае, когда в алгоритме применяется более одного узла нелинейной замены. Многие исследования показывают, что идеальных S-блоков, вероятнее всего, не существует. Поэтому было введено понятие оптимального S-блока, критерии которого определяются для конкретного криптографического алгоритма или класса криптографических алгоритмов) и являются оптимальными с точки зрения защиты от существующих видов атак.

Таким образом, актуальным вопросом является анализ существующих критериев для S-блоков и обоснованный выбор необходимого набора критериев для конкретных криптографических алгоритмов или классов криптографических алгоритмов; поиск и разработка теоретически обоснованных эффективных практических методов получения оптимальных S-блоков, обеспечивающих высокие показатели стойкости в симметричных криптографических алгоритмах. Проведенный анализ критериев и методов позволит построить наиболее эффективный алгоритм генерации оптимальных S-блоков.

**Набор безусловных критериев оптимальности s-блоков.** S-блоки (блоки подстановок) отображают блок из  $n$  битов в выходной блок из  $m$  битов ( $n$  и  $m$  не обязательно равны). S-блоки являются одним из основных компонентов, определяющих нелинейность криптографического алгоритма. Для защиты алгоритмов от различных видов атак S-блоки должны обладать рядом криптографических свойств. В настоящее время основными атаками, для которых имеют значения свойства S-блоков, используемых в криптографических алгоритмах, являются атаки, основанные на линейном, дифференциальном, алгебраическом методах криптоанализа. Другие методы анализа достаточно специфичны для отдельно взятого алгоритма, и, как правило, используют общую структуру алгоритма, а не отдельные его составляющие компоненты, как, например, S-блоки. При генерации S-блоков стремятся к достижению либо предельных показателей, обеспечивающих защиту от определенных видов атак, либо характеристик, обеспечивающих защиту от всех известных на текущий момент времени атак. Множество всех возможных критериев для оценки S-блоков можно разделить на безусловные критерии и условные критерии [1]. К безусловным относятся критерии, которым S-блоки должны удовлетворять в обязательном порядке, чтобы обеспечить их стойкость к основным криптоаналитическим атакам. К условным относятся дополнительные критерии, которым S-блоки должны удовлетворять, чтобы сравнивать S-блоки, удовлетворяющие безусловным критериям. Многие исследования показывают, что идеальных S-блоков, вероятнее всего, не существует. Поэтому было введено понятие оптимального S-блока, критерии которого определяются для конкретного криптографического алгоритма или класса криптографических алгоритмов и являются оптимальными с точки зрения защиты от существующих видов атак [2].

S-блок  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется оптимальным, если он удовлетворяет набору критериев, определяющих криптографическую стойкость алгоритма, в котором исполь-

зуется данный S-блок, к основным видам криптоаналитических атак (линейной, дифференциальной, алгебраической).

Критерии оптимального S-блока могут быть установлены для целого класса криптографических алгоритмов, а также заданы и для отдельно взятого криптоалгоритма. Можно сформировать контрольный список критериев для проектирования S-блока. Это не значит, что выбранный S-блок должен соответствовать всем критериям, но, скорее, когда проектировщик алгоритма меняет некоторые критерии ради достижения каких-нибудь других преимуществ, он должен внимательно рассмотреть любое нежелательное свойство, которое может возникнуть при этом, и должен проверить, есть ли другие компоненты в проектируемом алгоритме, которые могут исправить слабость без особых затрат. Искусство таких компромиссов было показано при проектировании ряда алгоритмов. Известным примером является криптографический алгоритм хеширования Кессак, в котором нелинейный компонент, представленный 5-битным S-блоком, не является сильным, если его оценивать с использованием ряда критериев, таких как, например, дифференциальная однородность, линейность, алгебраическая степень. Однако с точки зрения реализации этот алгоритм лучше. Выбор S-блока в алгоритме Кессак направлен в сторону от безопасности к производительности, в то же время тщательно разработанный линейный слой, правильная комбинация между различными компонентами и количество раундов исправляет слабость нелинейного слоя. Критерии для проектирования S-блоков могут быть расширены до критериев проектирования раундовых функций в целом всего алгоритма. Обычно возможно применить критерии для S-блока к небольшому количеству раундов, например, для двух раундов, что полезно для поиска потенциальных слабых мест в проектируемом алгоритме.

Далее сформируем примерный набор критериев, которым должны удовлетворять оптимальные S-блоки.

**Критерий 1.** (Дифференциальная равномерность). При выборе блоков подстановок одним из основных критериев является дифференциальная равномерность. Свойство дифференциальной равномерности определяется следующим образом [3]. S-блок  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется дифференциально  $\delta$ -равномерным, если для каждого  $a \in B^n$ ,  $a \neq 0$ , и каждого  $b \in B^m$  уравнение  $F(x) \oplus F(x \oplus a) = b$  имеет не более  $\delta$  решений. Порядком дифференциальной равномерности S-блока  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется минимальное  $\delta$  такое, что  $F: B^n \rightarrow B^m$  является дифференциально  $\delta$ -равномерной. Легко видеть, что минимально возможный порядок равен  $2^{n-m}$ . Функции минимального порядка дифференциальной равномерности  $2^{n-m}$  называют совершенно нелинейными функциями (PN-функциями). Заметим, что при  $m = n$  PN-функций не существует, поскольку если  $x_0$  – решение уравнения  $F(x) \oplus F(x \oplus a) = b$ , то и  $x_0 \oplus a$  также является решением. При  $m = n$  функции порядка дифференциальной равномерности 2 называются почти совершенно нелинейными (APN-функциями). Дифференциальная равномерность является показателем стойкости против дифференциальной атаки. Также для оценки стойкости против дифференциальной атаки используется таблица распределения разностей или XOR-таблица. Между дифференциальной  $\delta$ -равномерностью и таблицей распределения разностей существует очевидная связь:  $\delta = \max(T_{a,b}^{XOR})$ . На-

пример, для 8-битных подстановок оптимальными значениями дифференциальной равномерности являются значения не больше 8.

**Критерий 2.** (Нелинейность). Также при выборе блоков подстановок к основным критериям относят нелинейность. Свойство нелинейности булевой функции определяется следующим образом [2]. Нелинейностью  $N(f)$  булевой функции  $f: B^n \rightarrow B$  называется расстояние Хэмминга между  $f$  и множеством всех аффинных функций от  $n$  переменных. Известно, что нелинейность булевой функции всегда удовлетворяет следующему неравенству:  $N(f) \leq 2^{n-1} - 2^{n/2-1}$ . Булевы функции, обладающие наибольшей нелинейностью среди всех булевых функций от  $n$  переменных, называются максимально нелинейными. В случае четного числа переменных максимально нелинейные функции также называются бент-функциями, т.е. функциями, все коэффициенты Уолша которых равны  $\pm 2^{n/2}$ . При нечетном  $n$  бент-функции не существуют. Другими словами бент-функциями являются булевы функции с линейностью, достигающей нижней границы, т.е. с наибольшей нелинейностью. Нелинейность S-блоков определяется через нелинейность компонентных функций S-блоков, т.е. нелинейностью  $N(F)$  S-блока  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется минимальная из нелинейностей компонентных функций S-блока. Также для S-блоков определяется понятие бент-функции. S-блок  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется бент-функцией, если его нелинейность достигает своего максимального возможного значения, т.е., если каждая его компонентная функция является бент-функцией. Нелинейность является показателем стойкости против линейной атаки. Также для оценки стойкости используется таблица линейного распределения или таблица линейной аппроксимации. Между нелинейностью и таблицей линейного распределения S-блока существует непосредственная связь, выражаемая следующим соотношением:  $N(F) = 2^{n-1} - \max(T_{a,b}^{LAT})$ . Это позволяет легко находить значение нелинейности S-блока при известном значении максимума элементов таблицы линейного распределения, и наоборот. Таким образом, эти два свойства являются взаимозаменяемыми при оценке криптографической стойкости S-блока. Оптимальными значениями нелинейности для 8-битных подстановок являются значения не меньше 100.

**Критерии 3 и 4.** (Алгебраическая степень и алгебраическая иммунность). Важной криптографической характеристикой булевой функции является ее алгебраическая степень  $\deg(f)$ , т.е. число переменных в самом длинном слагаемом алгебраической нормальной формы булевой функции. В криптографических алгоритмах, в частности, в симметричных блочных алгоритмах шифрования следует выбирать функции с достаточно большой степенью. Повышение алгебраической степени приводит к повышению линейной сложности генерируемой последовательности; к повышению степени системы нелинейных уравнений, описывающих шифр. Аналогично алгебраическая степень S-блока также имеет важное значение. Алгебраической степенью  $\deg(F)$  S-блока  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется число переменных в самом длинном слагаемом его алгебраической нормальной формы.

Важным криптографическим свойством, определяющим стойкость против алгебраических атак, является алгебраическая иммунность (или алгебраический иммунитет). Существует несколько подходов к определению этого понятия [4]. Определяются базовая алгебраическая иммунность, графическая алгебраическая иммунность и компонентная алгебраическая иммунность.

Базовой алгебраической иммунностью S-блока  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется минимальная алгебраическая иммунность всех прообразов  $F^{-1}(z)$  элементов  $z \in B^m$ . Здесь алгебраической иммунностью подмножества  $E \subset B^n$  называется минимальная алгебраическая степень всех ненулевых аннигиляторов этого подмножества. Аннигилятором подмножества  $E \subset B^n$  называется любая булева функция от  $n$  переменных, принимающая нулевое значение на этом подмножестве.

Графической алгебраической иммунностью S-блока  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется алгебраическая иммунность графа  $\{(x, F(x)): x \in B^n\}$  S-блока  $F$ .

Компонентной алгебраической иммунностью S-блока  $F: B^n \rightarrow B^m$  называется минимальная алгебраическая иммунность компонентов S-блока  $F$ . Алгебраической иммунностью булевой функции  $f: B^n \rightarrow B$  называется минимальная из степеней аннигиляторов  $f$  и  $f \oplus 1$ . Булева функция  $g: B^n \rightarrow B$  называется аннигилятором булевой функции  $f: B^n \rightarrow B$ , если  $g \neq 0$  и  $fg = 0$ .

Алгебраическая степень и алгебраическая иммунность являются показателями стойкости против алгебраических атак. Алгебраическая атака – это метод криптографического анализа, основанный на алгебраических свойствах шифра. Впервые этот метод был применён к блочным шифрам Н. Куртуа (N. Courtois) в 2002 г. Алгебраические атаки используют внутреннюю структуру шифра, то есть для получения ключа необходимо представить алгоритм шифрования в виде системы уравнений с минимальной степенью многочленов и впоследствии решить данную систему. В случае 8-битных подстановок оптимальными значениями алгебраической степени являются значения не меньше 7, а максимальным значением алгебраической иммунности считается 3 при 441 уравнениях. А в случае подстановок 4 в 4 бита критерий алгебраической иммунности не играет большой роли, так как они могут быть описаны системой уравнений второй степени. Но в то же время он не может равняться 1.

**Критерии 5 и 6.** (Период, количество неподвижных точек и противоположных неподвижных точек). Еще в набор критериев оптимального S-блока можно включить период и количество неподвижных точек и противоположных неподвижных точек. Эти понятия определяются следующим образом [2].

Периодом элемента  $a \in B^n$  относительно S-блока  $F: B^n \rightarrow B^n$  называется наименьшее положительное целое число  $r$  такое, что  $F^r(a) = a$ .

Элемент  $a \in B^n$  называется неподвижной (фиксированной) точкой S-блока  $F: B^n \rightarrow B^n$ , если  $F(a) = a$ , т.е. период равен 1.

Элемент  $a \in B^n$  называется противоположной неподвижной (фиксированной) точкой S-блока  $F: B^n \rightarrow B^n$ , если  $F(a) = \bar{a}$ , где  $\bar{a} \in B^n$  такой, что  $a \oplus \bar{a} = 0$ . Количество неподвижных и противоположных неподвижных точек должно быть как можно меньше для обеспечения стойкости против статистического криптоанализа.

**Критерий 7.** (Биективность). Важным свойством, определяющим оптимальность S-блока, является биективность. Биективность S-блока определяется следующим образом. S-блок  $F: B^n \rightarrow B^n$  называется биективным, если она инъективна и сюръектив-



на, то есть одновременно выполняются следующие условия: 1) для любых элементов  $a', a'' \in B^n$ , если  $a' \neq a''$ , то  $F(a') \neq F(a'')$  (инъекция), 2) для любого элемента  $b \in B^n$  существует элемент  $a \in B^n$  такой, что  $F(a) = b$  (сюръекция). Это свойство эквивалентно обратимости S-блока.

Таким образом, в случае  $n = m = 8$  набор критериев оптимальных S-блоков состоит из 7 критериев: дифференциальной равномерности, нелинейности, алгебраической степени, алгебраической иммунности, количества неподвижных и противоположных неподвижных точек и периода, а также биективности.

**Заключение.** В данной работе рассмотрен важный вопрос критериального подхода к оценке криптографической стойкости S-блоков. S-блоки являются одним из основных компонентов, определяющих нелинейность и уровень стойкости современных симметричных криптографических алгоритмов. Для защиты алгоритмов от различных видов атак S-блоки должны удовлетворять целому ряду критериев. В работе проведена работа по систематизации и анализу существующих критериев, которым должны удовлетворять S-блоки, чтобы обеспечить высокий уровень криптостойкости криптографических алгоритмов, структура которых использует S-блоки. Множество всех возможных критериев для оценки S-блоков можно разделить на безусловные критерии и условные критерии. К безусловным относятся критерии, которым S-блоки должны удовлетворять в обязательном порядке, чтобы обеспечить их стойкость к основным криптоаналитическим атакам. К условным относятся дополнительные критерии, которым S-блоки должны удовлетворять, чтобы сравнивать S-блоки, удовлетворяющие безусловным критериям. Многие исследования показывают, что идеальных S-блоков, вероятнее всего, не существует. В работе исследовано понятие оптимальности S-блоков, критерии которых определяются для конкретного криптографического алгоритма или класса криптографических алгоритмов и являются оптимальными с точки зрения защиты от существующих видов атак. Осуществлен обоснованный выбор набора критериев, определяющих оптимальность S-блоков.

**Благодарности.** Работа выполнена при финансовой поддержке КН МОН РК, № AP09258274

## ЛИТЕРАТУРА

1 Горбенко И., Кузнецов А., Горбенко Ю., Пушкарев А., Котух Ю., Кузнецова К. Методы генерации случайных S-блоков для симметричной криптографии / 2-я Украинская конференция IEEE по электротехнике и вычислительной технике (UKRCON), 2019, стр. 947-950, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879962.

2 Казимиров А.В. Методы и инструменты генерации узлов нелинейной подстановки для симметричных криптоалгоритмов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.21 – системы информационной безопасности. Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2013.

3 Ньюберг К. Дифференциально однородные отображения для криптографии // Eurocrypt'93. LNCS. 1994. V. 765. С. 55-64.

4 Карле С. Векторные булевы функции для криптографии. Глава монографии по булевым моделям и методам в математике, информатике и инженерии. Под ред. Ю.Крамы, П.Хаммера, Издательство Кембриджского университета, Кембридж, 2010, стр.398-469.



## REFERENCES

1 Gorbenko, I, Kuznetsov, A., Gorbenko, Y., Pushkar'ov, A., Kotukh Y., Kuznetsova, K. Random S-Boxes Generation Methods for Symmetric Cryptography / 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2019, pp. 947-950, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879962.

2 Kazimirov A.V. Methods and tools for generating nonlinear substitution nodes for symmetric cryptoalgorithms. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.21 - information security systems. Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2013.

3 Nyberg K. Differentially uniform mappings for cryptography // Eurocrypt'93. LNCS. 1994. V. 765. P. 55–64.

4 Carlet C. Vectorial Boolean functions for cryptography. Chapter of the monography in Boolean Models and Methods in Mathematics, Computer Science, and Engineering. Ed. by Y.Crama, P.Hammer, Cambridge University Press, Cambridge, 2010, pp.398-469.

**Е. Н. СЕЙТҚҰЛОВ, Р. М. ОСПАНОВ, Н. Н. ТАШАТОВ,  
Б. Б. ЕРҒАЛИЕВА, Д. Ж. САТЫБАЛДИНА**

*Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті.  
Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
e-mail: yerzhan.seitkulov@gmail.com*

**ОПТИМАЛДЫ S-БЛОКТАР ҮШІН ШАРТСЫЗ КРИТЕРИЙЛЕР ЖИНАҒЫ**

*Бұл жұмыста симметриялық криптографиялық алгоритмдердің криптографиялық беріктігінің жоғары деңгейін қамтамасыз ету үшін S-жәшіктері қанағаттандыруға тиіс негізгі критерийлерді жүйелеу және талдау жұмыстары жүргізілді. Оларды бағалаудың барлық мүмкін критерийлерінің жиынтығын шартсыз және шартты деп бөлуге болады. Шартсыз критерийлер негізгі криптоаналитикалық шабуылдарға төзімділігін қамтамасыз ету үшін S-қораптары қанағаттандыруы керек критерийлер болып табылады. Шартты шартсыз критерийлерге сәйкес келетін S-жәшіктерін салыстыру үшін S-жәшіктері сәйкес келуі керек қосымша критерийлерге жатады. Жұмыста S-қораптарының оңтайлылығын анықтайтын шартсыз критерийлер жиынтығының ақылға қонымды таңдауы ұсынылған.*

***Түйін сөздер:** S-қораптары, алмастыру кестесі, криптография, симметриялық шифрлау, ақпаратты қорғау, ақпаратты қорғау.*

**YERZHAN N. SEITKULOV, RASLAN M. OSPANOV, NURLAN N. TASHATOV,  
BANU B. YERGALIYEVA, DINA ZH. SATYBALDINA**

*Gumilyov Eurasian National University  
Nur-Sultan, Kazakhstan  
e-mail: yerzhan.seitkulov@gmail.com*

**SET OF UNCONDITIONAL CRITERIA FOR OPTIMAL S-BLOCKS**

*In this work, work has been carried out to systematize and analyze the main criteria that S-boxes must satisfy in order to ensure a high level of cryptographic strength of symmetric cryptographic algorithms.*

*The set of all possible criteria for their assessment can be divided into unconditional and conditional. The unconditional criteria are those that must be met by S-boxes in order to ensure their resistance to major cryptanalytic attacks. Conditional refers to additional criteria that S-boxes must meet in order to compare S-boxes that meet the unconditional criteria. The paper presents a reasonable choice of a set of unconditional criteria that determine the optimality of S-boxes.*

**Keywords:** *S-boxes, substitution table, cryptography, symmetric encryption, information security, information protection.*

**В. В. ЮГАЙ, Н. Б. КАЛИАСКАРОВ\***

*Карагандинский технический университет, г. Караганда*

*slawa\_v@mail.ru, 90nurbol@mail.ru*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНЫХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОТЕРЬ**

*Представлены результаты исследования взрывобезопасных волоконно-оптических датчиков давления с использованием метода контроля дополнительных потерь, проводимые в рамках грантового проекта МОН РК №АР09562222. Проведены опыты по использованию различных источников оптического излучения для использования его в ВОДД. Определена зависимость значений деформации  $\epsilon$ , которая представлена математической моделью с различными видами аппроксимации.*

***Ключевые слова:** оптическое волокно, датчики давления, мониторинг, ANSYS.*

**Введение.** Развитие волоконно-оптической техники и технологий позволило существенно повысить пропускную способность систем передачи информации. Оптическое волокно (ОВ) постоянно совершенствуется, а его стоимость ежегодно снижается, что обеспечивало его доминирование в направляющих системах связи. В конце прошлого века были решены ряд важнейших задач по сокращению потерь мощности световой волны, распространяющейся в оптическом волокне. Основное препятствие при распространении света – это затухание, которое обусловлено в основном наличием примесей в материале ОВ. Над повышением качества передачи информации по ОВ постоянно работают ученые и инженеры множества стран мира. Это позволило создать ОВ с наименьшими потерями распространения сигнала. Анализ показал, что множество работ, посвященных преимуществам использования оптического волокна в качестве среды распространения многоканального сигнала, имеют существенные преимущества перед традиционно используемыми медными кабелями и эфиром. Из ОВ изготавливают кабели связи, способные передавать информации на тысячи километров. Само по себе ОВ является легко повреждаемым, так как представляет собой тонкую стеклянную нить диаметром 125 мкм, поэтому требуется защищать его от различных внешних воздействий. По своей прочности на разрыв ОВ может превосходить стальную нить токового размера, но при изгибе может легко сломаться, если радиус будет менее допустимого. Например, для волоконно-оптического кабеля допустимый минимальный радиус изгиба составляет двадцать диаметров самого кабеля, но данное соотношение зависит от марки кабеля и его покрытия. Радиус изгиба влияет не только на прочность ОВ, но и на потерю мощности импульса излучения [1]. Импульс световой волны, передаваемой по оптическому волокну, называется модой. Волоконно-оптические кабели подвергаются различным воздействиям: температуры; механическим усилиям различного вида и происхождения; влажности; агрессивности окружающей среды; водородной

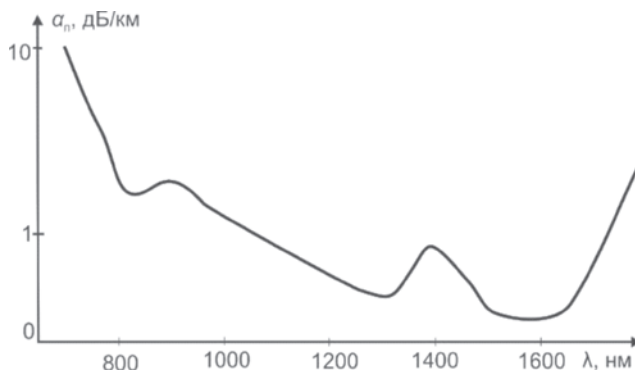
---

\* E-mail корреспондирующего автора: 90nurbol@mail.ru

коррозии из-за воздействия влаги, присутствующей в окружающей среде; радиации. Все перечисленные воздействия со временем ухудшают процесс передачи данных, а также ведут к увеличению дополнительных потерь мощности передаваемого сигнала. К примеру, изменение температуры ОВ влияет на его коэффициент затухания.

**Теоретическая основа исследований и постановка задачи.** Механические воздействия на ОВ, связанное его деформацией, приводит также к локальным повышениям затухания и изменению его передающих характеристик.

Для одномодового ОВ механическое воздействие вызывает изменение длины волны отсечки и увеличению дополнительных потерь на рассеяние. Описанные выше свойства ОВ можно использовать их не только как средство передачи данных, но и как датчики различных физических величин. В данной статье будут рассмотрены механические воздействия на ОВ, а именно случаи, связанные с изгибом, который снижает передаточные параметры. Можно выделить два варианта изгиба – это микроизгиб и макроизгиб. Микроизгиб возникает при локальном нарушении прямолинейности ОВ, это связано с процессом изготовления или при монтаже кабеля. Макроизгиб возникает при скрутке ОВ по всей длине кабеля или при его намотке на барабан. При изгибе возникают дополнительные потери оптической мощности моды, которые обусловлены излучением направляемых мод за пределы оболочки в окружающее пространство. Если изогнуть ОВ и пропустить по нему световую волну видимого диапазона, то в месте изгиба будет видно свечение, а при уменьшении радиуса изгиба свечение начинает усиливаться. Обычно для выявления обрывов и мест критических изгибов используется полупроводниковый лазер красного цвета. Изгиб ОВ до критического значения и менее того приведет не только к потере мощности излучения моды, но и к разрушению самого ОВ [1]. Критический радиус может составлять несколько миллиметров, для разных волокон это значение колеблется от 3 до 5 мм, например, у одномодовых ОВ, работающих в режиме с большой площадью поперечной моды и высокими параметрами апертуры, допустимый радиус изгиба составляет десятки сантиметров. Основные потери, возникающие в ОВ при прохождении световой моды, являются достаточно изученными, а также имеется значительный объем источников, описывающий этот процесс. На рисунке 1 приведен график зависимости основных потерь от длины волны оптического излучения.



**Рисунок 1** – График потерь, возникающих в оптическом волокне при различной длине световой волны на один километр

Из графика видно, что наименьшие потери возникают в ОВ при длинах волн 1310 и 1550 нм, которые используются в системах телекоммуникации. Также меньшие потери отмечены на длине волны 900 нм, этот диапазон используется для локальных вычислительных сетей, где расстояния не превышают 800 метров. На один километр длины ОВ приходится определенное значение затухания сигнала. Например, на длине волны 1550 нм затухание сигнала составляет 0,22 дБ/км, существуют ОВ с меньшими показателями затухания. Это очень важно при передаче импульса световой моды на значительные расстояния в сотни километров. Соответственно, чем ниже затухание, тем выше эффективности работы направляющей системы связи. Если на оптическое волокно оказать механическое воздействие, то потери увеличатся в несколько раз и будут зависеть от характера изгиба. Чем меньше радиус изгиба, тем выше значение дополнительных потерь. Соответственно если использовать описанные выше свойства ОВ вызывать дополнительные потери при механическом воздействии на него, можно создать различного рода датчики, способные измерять давление или смещения. Использование ОВ в качестве датчика давления и смещения рассматривалась ранее в [2,3]. Сама идея использования ОВ в качестве датчика не новая, уже имеются ранние разработки, описанные в [4,5], но до конца еще не исследованы все возможные варианты его использования, а также имеются пробелы в области их использования в горном деле [2,3]. Есть сведения об испытаниях различных типов датчиков и приведены сведения об их конструкции [6,7]. Имеется положительный опыт использования ВОД в медицине [8]. Численные и экспериментальные исследования сенсора на основе фотонно-кристаллического волокна высокого давления рассмотрены в [9]. Наиболее близким к настоящим исследованиям является работа, посвященная разработке датчика давления на основе боковой деформации [10], а также измерения давления, описанные в [11]. Изучив вышеперечисленные работы, принято решение, что конструкция датчика подразумевает наличие элементов, воздействующих на ОВ и вызывающих микроизгиб. При создании датчика будет учитываться возможность максимального изгиба ОВ без его повреждения. Имеются сведения о разработке волоконно-оптических датчиков (ВОД) для охранных систем [11].

Для точного вычисления критического радиуса изгиба ОВ можно воспользоваться известным выражением:

$$R_{кр} \approx \frac{3n_1^2 \lambda}{4\pi(n_1^2 - n_2^2)^{3/2}}, \text{ мм} \quad (1)$$

где  $n_1$ ,  $n_2$  – показатели преломления сердцевин и оболочки;  $\lambda$  – длина волны применяемого излучения.

Как видно из выражения, теоретической основой будущего датчика будет являться микроизгиб, который будет вызывать дополнительные потери в ОВ. С увеличением длины волны потери при изгибе сильно возрастают, это свойство тоже будет учитываться при создании датчика. Увеличение потерь в ОВ при изгибе волокна на больших длинах волн ограничивает диапазон пропускания. К примеру, ОВ, предназначенное для одномодового режима передачи данных при длине волны 850 нм, не может быть использовано для режима передачи данных при длине волны 1500 нм,

так как потери при изгибе на этой длине волны будут значительными. Можно отметить, что при строительстве и эксплуатации волоконно-оптических линий передачи присутствуют так называемые эксплуатационные потери, которые обусловлены скруткой, деформацией и изгибами, возникающими при наложении покрытий и защитных оболочек при производстве кабеля, а также в процессе его прокладки. На рисунке 2 представлена поясняющая схема микроизгиба, на которой показано, что часть излучения моды, распространяемой по сердцевине ОВ, выходит за пределы оболочки и теряется, рассеиваясь в окружающем пространстве. Когда радиус изгиба уменьшается до критического значения, что на практике составляет несколько сантиметров, то происходит процесс преобразования направляемых мод в моды излучения.

Создается условие, при котором отражение мод высокого порядка происходит под углами, при которых дальнейшее ее прохождение по сердцевине ОВ становится невозможным. Это сводится к тому, что импульс света покидает ОВ. Развитие технологии производства ОВ направлено на уменьшение этих микронеоднородностей и снижение потерь при изгибах. Учитывая это обстоятельство для волоконно-оптических изготовления датчиков, будет использовано ОВ стандарта G 652.

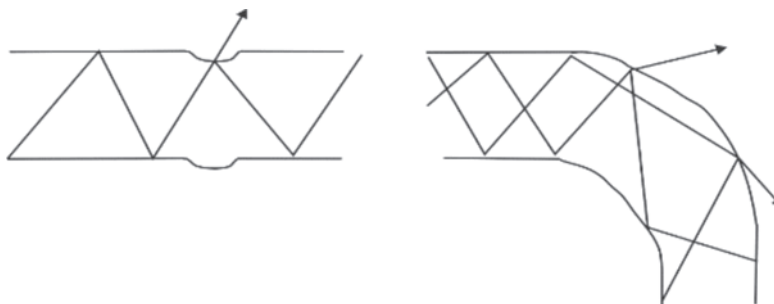


Рисунок 2 – Потери на изгибах волокна

Как известно, при распространении оптического сигнала внутри волокна происходит его экспоненциальное затухание, что вызывает потерю оптической мощности  $P$ . Этот процесс обусловлен различными линейными и нелинейными механизмами взаимодействия световых волн со средой ОВ.

Закон затухания можно выразить следующим выражением:

$$P = P_0 \exp(-\alpha l) \quad (2)$$

где  $P_0$  - мощность, вводимая в волокно;  $l$  - длина волокна;  $\alpha$  - коэффициент полных потерь световой энергии ОВ.

Взаимосвязь между параметрами  $\alpha_n$  и  $\alpha$  можно представить в следующем виде:

$$\alpha_n = \frac{10 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right)}{l} = 4,343 \cdot \alpha, \text{ Дб/км} \quad (3)$$

Представленная ранее, на рисунке 2, кривая потерь, возникающих в оптическом волокне при различной длине световой волны на один километр, позволяет выделить

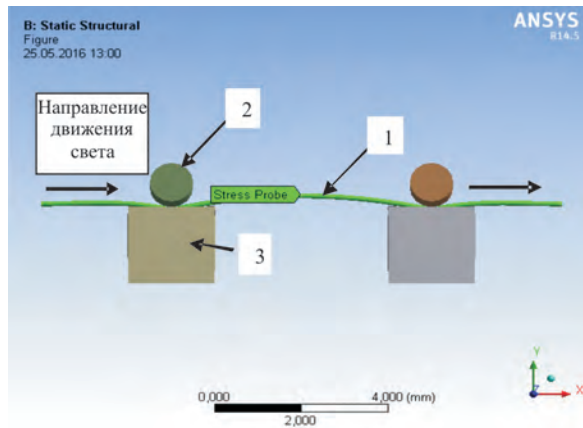


три окна прозрачности с центрами в точках 850, 1300, 1550 нм. Имеются следующие закономерности, которые необходимо учитывать при создании датчика на основе ОВ. Оптическое волокно при механическом воздействии и изгибе на длинах волн 1625 нм имеет большие потери, чем на длинах волны 1550 и 1310 нм. При формировании угла изгиба, менее критического, наблюдается обратная зависимость: оптическое волокно на длинах волн 1625 нм имеет меньшие потери, чем на длинах волны 1550 и 1310 нм. Учитывая вышесказанное, задачей данного исследования является разработка лабораторного образца волоконно-оптического датчика давления (ВОДД) на основе метода измерения дополнительных потерь и проведение исследований его параметров. В дальнейшем данный датчик планируется использовать для измерения давления горных паров на элементы арочной крепи горных выработок угольных шахт. Актуальность разработки ВОДД заключается ряде технических преимуществ по отношению к традиционным электронным системам измерения и мониторинга. ВОДД обладает высокой степенью безопасности использования в взрывоопасной среде, полной искробезопасностью измерительных каналов; малой массой и размерами при значительной механической прочности; высокой надежностью и стойкостью к коррозии; высокими параметрами помехозащищенности, низкими затратами энергии для функционирования. Это делает ВОДД весьма перспективными для внедрения в горной промышленности.

#### **Компьютерное моделирование волоконно-оптического датчика давления на основе метода измерения дополнительных потерь**

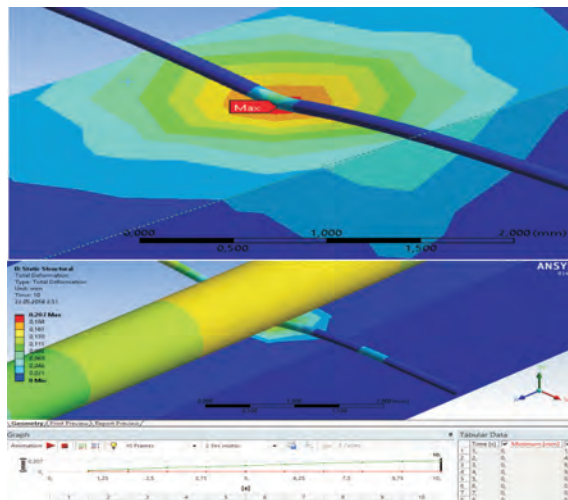
Для создания взрывобезопасных информационно измерительных систем (ИИС) на основе ВОДД были использованы методы компьютерного моделирования. Это позволило выполнить поиск конструктивного решения ВОДД, который будет измерять давление со стороны массива пород выработки на элементы крепи. Так же получена возможность спрогнозировать опасность внезапного обрушения горных пород свода выработки, что позволит заблаговременно усилить крепь. Также контроль горного давления позволит выбирать наиболее оптимальный по технико-экономическим затратам паспорт крепления. Работа ВОДД основана на использовании метода контроля дополнительных потерь в ОВ. Соответственно выполнена имитация давления на ОВ и визуализации картины его напряженно деформированного состояния. Величина дополнительных потерь напрямую зависит от величины механического воздействия. На рисунке 3 показана схема проведения компьютерного эксперимента с использованием программы ANSYS STATIC STRUCTURAL, основанную на методе конечных элементов. ОВ располагается на двух мягких опорах из резины. На ОВ сверху давит два металлических стальных стержня диаметром 1 мм.

В качестве измерительного элемента используем оптическое волокно диаметром 125/9 мкм, которое располагается на двух демпферах, которые представляют собой две резиновые прокладки. Давление передается на два стальных стержня, расположенные на расстоянии 4 мм, друг от друга. Источник оптического излучения принят с длиной волны тестового диапазона 1310 нм и 1550 нм.



1 – оптическое волокно, 2 – стальные стержни диаметром 1 мм,  
3 – упругая резиновая подкладка

**Рисунок 3** – Компьютерная модель ВОДД



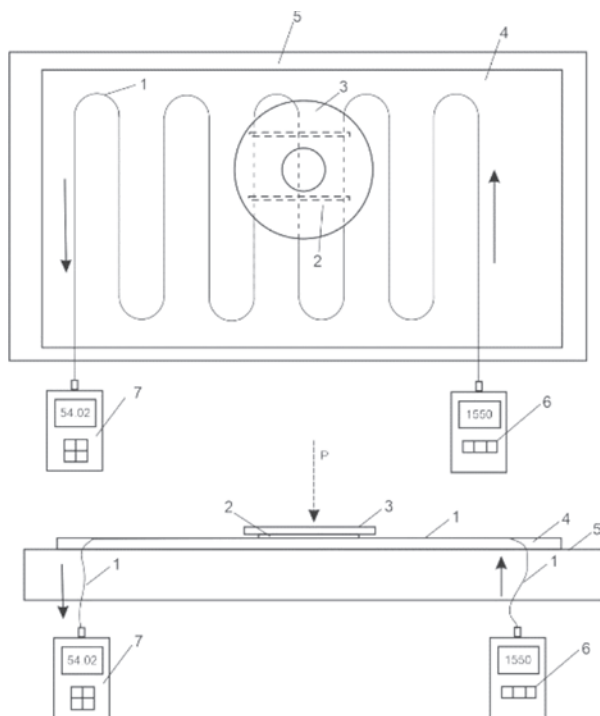
**Рисунок 4** – Визуализация механических напряжения трехмерного моделирования в программном пакете ANSYS

Программа ANSYS позволяет с достаточно высокой точностью рассчитать перемещения, деформации, напряжения, внутренние усилия, возникающие в теле под действием статической нагрузки. Выбор типа и размера конечного элемента при разбиении модели влияет на точность полученных данных. В соответствии с условиями проведения эксперимента элементам модели присвоены необходимые физические параметры. В расчёте использовались основные свойства контактных взаимодействий элементов. Результатом расчёта стало вычисление механического напряжения в области контакта оптическое волокно — стального стержня. Кроме того, была получена визуализация картины распространения механических напряжений и деформаций с точным отображением распределения напряжения в каждой точке компьютерной модели. На рисунке

4 представлены результаты трёхмерного моделирования и визуализация механических напряжения трёхмерного моделирования в программном пакете ANSYS.

Визуализация имеет различную цветовую гамму и более ярким участкам соответствует большее механическое напряжение. Также имеется информация о значениях механических напряжений и деформаций ОВ.

**Методы проведения лабораторных исследований.** Как сказано ранее, в исследованиях использовался метод измерения дополнительных потерь, возникающих в ОВ при его изгибе. В качестве источника оптического излучения использовался SmartPocket OLS-34/35/36 со встроенными опциями Auto- $\lambda$  и Multi- $\lambda$ . В качестве измерительного прибора использован оптический ваттметр SmartPocket OLP-38, который может автоматически измерять уровень мощности и вносимые потери в одномодовом и многомодовом оптическом кабеле. Для подключения к приборам использованы универсальный UPP 2.5 мм адаптер и оптические коннекторы типа SC и FC. Схема измерений приведена на рисунке 5. На рисунке 6 приведено фото лабораторного стенда. По ОВ 1 пропускается световая волна длиной от 650 до 1550 нм. Направление движения света показано стрелками. ОВ располагается на демпфере 4 и лежит на твёрдой поверхности 5, которая не деформируется при воздействии на нее груза. Основание 5 является поверхность стола. Направления давления груза показано стрелкой. На ОВ воздействуют два металлических стержня диаметром 1 мм. В опытах использовано ОВ стандарта G652 с диаметром 125/9 мкм, соответственно оболочки и сердцевины.



1 – Оптическое волокно, 2 – металлический стержень, 3 – диск, 4 – демпфер, 5 – основание стола, 6 – источник света, 7 – измеритель оптической мощности.

**Рисунок 5** – Схема измерений

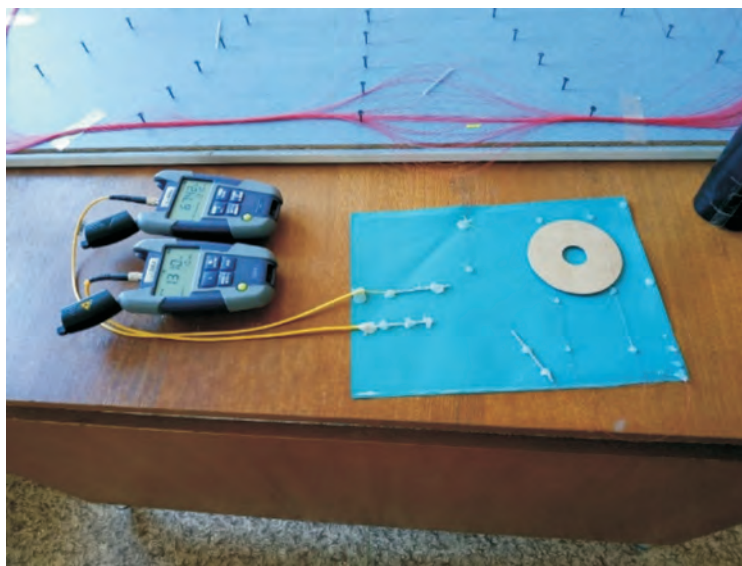
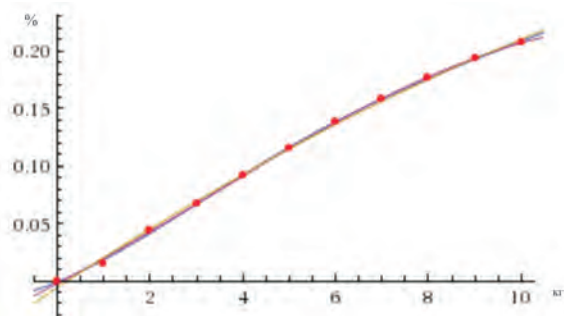


Рисунок 6 – Фото лабораторного стенда

Груз устанавливался на поверхность диска 3, который предавал нагрузку двум стержням 2, а те уже в свою очередь воздействовали на ОВ. Чем больше вес груза, тем больший изгиб ОВ. Соответственно большая деформация ОВ вызывает большие потери оптического излучения, которое передается от источника 6 к измерителю 7. Все измерения проводились при температуре 23 °С, при относительной влажности 54 %. Обработка результатов экспериментов проводу при помощи компьютерной программы Wolframalpha, а оценку результатов проведем, согласно выбранных критериев:

AIC – Информационный критерий Акаике, BIC – Байесовский информационный критерий,  $R^2$  – Коэффициент детерминации, Adjusted  $R^2$  – Скорректированный (adjusted)  $R^2$ .

**Результаты исследований лабораторного образца ВОДД.** Численное исследование модели ВОДД механических напряжений и деформации проведено с помощью ANSYS, а результаты экспериментов обработаны при помощи программы Wolframalpha, которая является интерактивной системой для выполнения обработки результатов экспериментов и ориентирована на работу с массивами данных. Граничное условие, давление на стальные стержни от 1 до 10 МПа с интервалом шага 1 секунда давление изменяется на 1 МПа, начальные условия давления  $Q = 0$  МПа, всего 10 шагов. Перемещение по осям после приложения давления  $Ox=0$  м;  $Oy=0$  м;  $Oz=0$  м. Температура в помещении лаборатории 23°С. В результате автоматизированной аппроксимации полученных данных эксперимента программой Wolframalpha получены следующие однофакторные математические модели. Wolframalpha работает на основе теории о вычислимости и представляет собой систему компьютерной алгебры, а также базу знаний и набор вычислительных алгоритмов на основе первого.



**Рисунок 7** – Значение деформации  $\varepsilon$  ОВ при пошаговом увеличении давления на металлические стержни

Зависимость значений деформации  $\varepsilon$ , которая представлена математической моделью с различными видами аппроксимации следующее:

$\varepsilon = 0,000018951Q^4 - 0,000472288 Q^3 + 0,0032662 Q^2 + 0,0165598 Q - 0,00127462$  (аппроксимация quartic)

$\varepsilon = -0,0000932673 Q^3 + 0,000897319 Q^2 + 0,0212976 Q - 0,00263909$  (аппроксимация cubic)

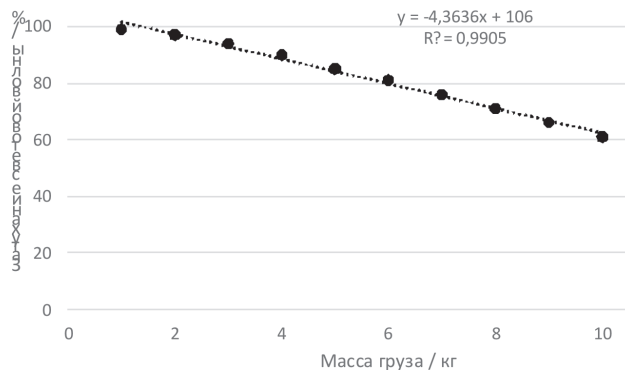
$\varepsilon = -0,00050169 Q^2 + 0,0266324 Q - 0,00599671$  (аппроксимация quadratic)

| Аппроксимация | AIC      | BIC      | R <sup>2</sup> | Adjusted R <sup>2</sup> |
|---------------|----------|----------|----------------|-------------------------|
| quartic       | -100,704 | -98,3164 | 0,999263       | 0,999263                |
| cubic         | -97,2166 | -95,2271 | 0,998959       | 0,998959                |
| quadratic     | -89,4635 | -87,872  | 0,998232       | 0,99779                 |

Проведены опыты по использованию различных источников оптического излучения для использования его в ВОДД. Использовалась длина волны оптического излучения 1310 и 1550 нм. График зависимости выходной мощности от приложенной нагрузки представлен на рисунке 4. Нагрузка изменялась от 2 до 10 кг с шагом 1 килограмм. На графике видно, что ВОДД имеет линейность характеристик. В качестве источника излучения использовались лазер с длиной волны 1550 нм, светодиод красный с повышенной яркости и инфракрасный, для упрощения системы измерения. В качестве приемника излучения использовался ваттметр оптический SmartPocket OLP-38.

Относительная погрешность измерений составила 2,112 %, коэффициент Стьюдента 1,092 с доверительным интервалом 0,95.

**Обсуждение и выводы.** ВОДД имеет незначительную нелинейность при приложенном давлении на стальные стержни от 1 до 10 МПа. Исследования показали, что разработанный ВОДД имеет незначительную нелинейность при нагрузке равной одному килограмму, при увеличении нагрузки от 2 до 10 кг сохраняется стабильная линейность характеристик. Нами поставлены опыты по использованию различных источников оптического излучения для использования его в ВОДД, наибольшая линейность достигнута при длине световой волны 1550 нм. Предложенный лабораторный образец способен с высокой точностью измерять горное давление на крепь



**Рисунок 8** – График зависимости выходной мощности от приложенной нагрузки при длине волны 1550 нм.

выработки, при этом быть взрывобезопасным и сохраняется стабильная линейность характеристик.

**Благодарности.** В основе публикаций лежат результаты научных исследований выполненных за счет средств проекта ИРН №АР09562222 «Информационно-измерительная система нового поколения на основе волоконно-оптических датчиков» (договор 254/12-2 от 15.07.21). Научные исследования выполнены с использованием лабораторий Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина.

## ЛИТЕРАТУРА

1 A.V. Yurchenko, A.D. Mekhtiev, N I Gorlov, AAKovtun. Research of the Additional Losses Occurring in Optical Fiber at its Multiple Bends in the Range Waves 1310nm, 1550nm and 1625nm Long. Journal of Physics: Conference Series 671 (2016) 012001 This content has been downloaded from IOPscience. Please scroll down to see the full text. (<http://iopscience.iop.org>) DIO:10.1088/1742-6596/671/1/012001).

2 A.D. Mekhtiev, F.N. Bulatbaev, E.G. Neshina, A.D. Al’kina. The Model of a Fiber-Optic Sensor for Monitoring Mechanical Stresses in Mine Workings. Russian Journal of Nondestructive Testing, 2018, Vol. 54, No. 7, pp. 528–533. © Pleiades Publishing, Ltd., 2018

3 A. Yurchenko, A. Mekhtiev, A Alkina, F. Bulatbayev, E. Neshina. The Questions of Development of Fiber optic Sensors for Measuring Pressure with Improved Metrological and Operational Characteristics. VII Scientific Conference with International Participation “Information-Measuring Equipment and Technologies” (IME&T 2016), MATEC Web of Conferences 79, 01085 DOI: 10.1051/01085/mateconf/201679001085.

4 Hashemian, H.M., Black, C.L., and Farmer, J.P. Assessment of fiber optic pressure sensors. United States: N. p., 1995. Web. doi:10.2172/71391.

5 Juarez J.C. and Taylor H.F. Field test of a distributed fiber-optic intrusion sensor system for long perimeters // Applied Optics. – 2007. – Vol.46, No.11. – P. 1968–1971.

6 Shih-Chu Huang and Hermann Lin Counting signal processing and counting level normalization techniques of polarization-insensitive fiber-optic Michelson interferometric sensors // Applied Optics. – 2006.– Vol.45, No.35. – P. 8832–8838.

7 Jonas H. Osório, et al., “Simplifying the Design of Microstructured Optical Fibre Pressure Sensors,” Scientific Reports, 7, 2017.



8 Sven Poeggel, et al., “Optical Fibre Pressure Sensors in Medical Applications,” *Sensors* 2015, 15(7), 17115–17148.

9 Numerical and Experimental Studies for a High Pressure Photonic Crystal Fiber Based Sensor Juliano G. Hayashi, Cristiano M. B. Cordeiro, Marcos A. R. Franco, and Francisco Sircilli Citation: AIP Conference Proceedings 1055, 133 (2008); doi: 10.1063/1.3002521 View online: <https://doi.org/10.1063/1.3002521>

10 Frantisek Urban et al, Design of a Pressure Sensor Based on Optical Fiber Bragg Grating Lateral Deformation, *Sensors* 2010, 10, 11212-11225

11 Введенский Б.С. Волоконно-оптические сенсоры в системах охраны периметра // Мир и безопасность. – 2006.– №4-5. 7. Polyakov A.V., Ksenofontov M.A. Frequency fiber-optical alarm system // International Conference on Laser, Applications and Technologies (LAT-2007), Minsk, 28 May–1 June 2007.– Minsk, 2007. – P. 93.

## REFERENCES

1 A.V. Yurchenko, A.D. Mekhtiev, N I Gorlov, AAKovtun. Research of the Additional Losses Occurring in Optical Fiber at its Multiple Bends in the Range Waves 1310nm, 1550nm and 1625nm Long. *Journal of Physics: Conference Series* 671 (2016) 012001 This content has been downloaded from IOPscience. Please scroll down to see the full text. (<http://iopscience.iop.org>) DIO:10:1088/1742-6596/671/1/012001).

2 A.D. Mekhtiev, F.N. Bulatbaev, E.G. Neshina, A.D. Al’kina. The Model of a Fiber-Optic Sensor for Monitoring Mechanical Stresses in Mine Workings. *Russian Journal of Nondestructive Testing*, 2018, Vol. 54, No. 7, pp. 528–533. © Pleiades Publishing, Ltd., 2018

3 A. Yurchenko, A. Mekhtiev, A Alkina, F. Bulatbayev, E. Neshina. The Questions of Development of Fiberoptic Sensors for Measuring Pressure with Improved Metrological and Operational Characteristics. VII Scientific Conference with International Participation “Information-Measuring Equipment and Technologies” (IME&T 2016), MATEC Web of Conferences 79, 01085 DOI: 10.1051/01085/mateconf/201679001085.

4 Hashemian, H.M., Black, C.L., and Farmer, J.P.. Assessment of fiber optic pressure sensors. United States: N. p., 1995. Web. doi:10.2172/71391.

5 Juarez J.C. and Taylor H.F. Field test of a distributed fiber-optic intrusion sensor system for long perimeters // *Applied Optics*. – 2007. – Vol.46, No.11. – P. 1968–1971.

6 Shih-Chu Huang and Hermann Lin Counting signal processing and counting level normalization techniques of polarization-insensitive fiber-optic Michelson interferometric sensors // *Applied Optics*. – 2006.– Vol.45, No.35. – P. 8832–8838.

7 Jonas H. Osório, et al., “Simplifying the Design of Microstructured Optical Fibre Pressure Sensors,” *Scientific Reports*, 7, 2017.

8 Sven Poeggel, et al., “Optical Fibre Pressure Sensors in Medical Applications,” *Sensors* 2015, 15(7), 17115–17148.

9 Numerical and Experimental Studies for a High Pressure Photonic Crystal Fiber Based Sensor Juliano G. Hayashi, Cristiano M. B. Cordeiro, Marcos A. R. Franco, and Francisco Sircilli Citation: AIP Conference Proceedings 1055, 133 (2008); doi: 10.1063/1.3002521 View online: <https://doi.org/10.1063/1.3002521>

10 Frantisek Urban et al, Design of a Pressure Sensor Based on Optical Fiber Bragg Grating Lateral Deformation, *Sensors* 2010, 10, 11212-11225

11 Vvedenskij B.S. Volokonno-opticheskie sensory v sistemah ohrany perimetra // *Mir i bezopasnost'*. – 2006.– №4-5. 7. Polyakov A.V., Ksenofontov M.A. Frequency fiber-optical alarm system // International Conference on Laser, Applications and Technologies (LAT-2007), Minsk, 28 May–1 June 2007.– Minsk, 2007. – P. 93.

**В. В. ЮГАЙ, Н. Б. КАЛИАСКАРОВ**

*Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды қ.*

**ҚОСЫМША ЖОҒАЛУЛАРДЫ БАҚЫЛАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА  
ОТЫРЫП ЖАРЫЛЫСҚА ҚАУІПСІЗ ОПТИКАЛЫҚ-ТАЛШЫҚТЫ  
ҚЫСЫМ ДАТЧИКТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

*Мақалада ҚР БжҒМ гранттық қаржыландырылған АР09562222 жобасы аясында жүргізілген Қосымша шығындарды бақылау әдісін қолдана отырып, жарылысқа қарсы талшықты-оптикалық қысым датчиктерін зерттеу нәтижелері ұсынылған. ОТҚД пайдалану үшін оптикалық сәулеленудің әртүрлі көздерін пайдалану бойынша тәжірибелер жүргізілді.  $\epsilon$  деформация мәндерінің тәуелділігі анықталды, ол жуықтаудың әртүрлі түрлері бар математикалық модельмен ұсынылған.*

*Түйін сөздер: оптикалық талшық, қысым датчиктері, мониторинг, ANSYS.*

**V. V. YUGAY, N. B. KALIASKAROV**

*Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan*

**INVESTIGATION OF EXPLOSION-PROOF FIBER-OPTIC PRESSURE  
SENSORS USING THE METHOD OF ADDITIONAL LOSS CONTROL**

*The results of the study of explosion-proof fiber-optic pressure sensors using the method of monitoring additional losses, carried out within the framework of the grant project of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan АР09562222. Experiments have been conducted on the use of various sources of optical radiation for its use in fiber-optic pressure sensors. The dependence of the strain values is determined, which is represented by a mathematical model with various types of approximation.*

*Key words: optical fiber, pressure sensors, monitoring, ANSYS.*

УДК 623.09

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.141>

**Г. А. МУН<sup>1,2</sup>, Е. С. ВИТУЛЁВА<sup>3\*</sup>, С. В. КОНЬШИН<sup>3</sup>,  
И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Национальная инженерная академии РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Алматинский Университет Энергетики и Связи имени Гумарбека Даукеева  
Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского,  
Симферополь, Россия

### **АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ОСНОВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЧАСТИЧНО АВТОНОМНЫХ БОЕВЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ: АЛГЕБРАИЗАЦИЯ ЯЗЫКОВЫХ ФОРМ**

*Показано, что современные тенденции развития вооружений и боевой техники заставляют ставить вопрос о совершенствовании систем искусственного интеллекта, в частности, их постепенного сближения с интеллектом человека. Показано, что это, в свою очередь, требует совершенствования алгоритмической основы систем искусственного интеллекта, в том числе на основе перехода к многозначным логикам. Установлена тесная связь между алгебраизацией естественного языка и созданием языка боевых нейронных сетей – распределенных систем, в которых обработка информации осуществляется на основе тех же принципов, что задействованы головным мозгом человека. Основой для этого является рассмотрение естественного языка как надличностной информационной структуры, которая во многом определяет характер интеллекта индивида. Предложено универсальное средство алгебраизации произвольных многозначных логик, множество элементов которых может быть поставлено в соответствие определенному полю Галуа. Таким средством является аналог полинома Жегалкина, справедливый для произвольной многозначной логики, обладающей указанным свойством (сам полином Жегалкина относится только к случаю двоичной логики). Рассмотрен конкретный пример, доказывающий конструктивность предложенного подхода, получены конкретные логические выражения, отвечающие работе троичного сумматора, использующего поле Галуа, содержащее три элемента.*

**Ключевые слова:** боевые нейронные сети, искусственный интеллект, естественный язык, алгебраизация, полином Жегалкина, поля Галуа.

Тезис о постиндустриальной войне как о «войне стоимостей» уже не нуждается в развернутых доказательствах. Ориентация на максимальную роботизацию боевых

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [Lizavita@list.ru](mailto:Lizavita@list.ru)

действий выводит на первый план экономические возможности противоборствующих сторон, в том числе связанные с затратами на разработку перспективных систем вооружений [1], что в том числе относится к разработкам систем управления боевыми роботизированными системами различного назначения, которые по целому ряду причин (включая фактор радиоэлектронной борьбы, РЭБ) становятся все более автономными [2,3].

Из тезиса о постиндустриальной войне как о войне стоимостей с непреложностью вытекает также резкое повышение роли систем искусственного интеллекта (СИИ) оборонного назначения. Направлений дальнейшего развития СИИ в настоящее время существует достаточно много [4], но есть все основания полагать, что определяющее значение приобретает совершенствование аппарата многозначной логики как основа для форсированного совершенствования СИИ, философская основа для чего заложена в [5,6].

Совершенствование СИИ неизбежно приведет к качественным трансформациям в разработке физических компонент боевых систем. Показать это удобнее всего на примере использования боевых нейронных сетей (БНС), предназначенных для проведения контртеррористических операций и операций против любых подразделений противника, вооруженным легким стрелковым оружием и обладающих ограниченным боезапасом (диверсионные подразделения и т.д.).

Соответствующая БНС представляет собой совокупность большого числа физически не связанных между собой компонент, каждый из которых играет роль нейрона сети (или совокупности нейронов). Автономный режим функционирования такой БНС достигается именно за счет использования способности нейросети распознавать образы (например, идентифицировать цели), обеспечивать выработку локальных команд и т.п. Очевидно, что физическими компонентами БНС могут служить беспилотные летательные аппараты (БПЛА), однако существующая тенденция на их групповое использование ожидается приведет к резкому снижению требований к их тактико-техническим характеристикам (ТТХ), вплоть до качественных изменений в конструкции.

Одним из примеров альтернативного решения является реактивный осколочный боеприпас [7], обладающий низкой скоростью перемещения в воздухе и весьма ограниченными возможностями для маневра. Однако по сравнению с БПЛА существующих типов он обладает выраженным преимуществом – низкой стоимостью, сопоставимой со стоимостью традиционных осколочных боеприпасов (Ф-1 и т.д.). Более того, в БНС, построенных на основе таких боеприпасов, наряду с элементами, несущими боевую часть, могут быть включены муляжи или элементы, обеспечивающие только распределенную телеметрию.

При условии, что стоимость боеприпаса, необходимого для уничтожения элемента БНС, заметно превышает его собственную стоимость, применение БНС, построенной на основе элементов с низкими ТТХ, становится вполне оправданным. Такая БНС во многом работает на истощение боезапаса противника, а также на его демаскировку, облегчающую идентификацию целей даже при использовании сравнительно простых нейросетевых алгоритмов, обеспечивающих распознавание, например, только вспышек выстрелов из легкого стрелкового оружия.

Рассмотренная БНС является одним из предельных случаев систем, ориентированных на использование тактики «осинового роя» [1], которая позволяет нивелировать любые попытки «оставить в строю технику индустриальной войны», например, попытки использования активной защиты танков и т.д. Низкая стоимость физических компонент БНС позволяет истощить такого рода защиту даже при ориентации на физические компоненты с максимально сниженными ТТХ.

Рассмотренный пример, во-первых, наглядно иллюстрирует тезис о постиндустриальной войне как о войне стоимостей, во-вторых, он показывает, что определяющее значение приобретает уже не столько разработка физических компонент БНС, но алгоритмы, заложенные в их функционирование, что возвращает к идеям, высказанным в [4].

В этой связи выраженное прикладное значение приобретает вопрос о связи между естественными языками как особой информационной сущностью и интеллектом как таковым. Как вытекает из материалов работ [8,9], известный тезис Умберто Эко «Это не мы разговариваем языком, это язык разговаривает нами» в настоящее время допускает последовательную естественнонаучную интерпретацию на основе теории нейронных сетей. Есть все больше оснований рассматривать естественный язык как базовую предпосылку для формирования и функционирования человеческого интеллекта [10] и, соответственно, развивать СИИ именно в этом направлении, то есть конструируя некий «язык СИИ», приближающийся по своим свойствам к естественным языкам, что, в свою очередь, заставляет обратить самое пристальное внимание на аппарат многозначных логик. Операции, осуществляемые интеллектом человека, намного богаче, нежели те, что выражаются логикой Аристотеля.

Разработка такого языка (или языков) позволит самым существенным образом модернизировать алгоритмическую основу СИИ, а в прикладном отношении – в перспективе приблизить язык команд, отдаваемых БНС, к языку команд, отдаваемых личному составу, что является более чем актуальным, в том числе, с точки зрения фактора РЭБ.

Это возвращает к вопросу об алгебраизации языковых форм который самым тесным образом связан с вопросом об алгебраизации многозначной логики.

Пояснить значимость алгебраизации можно с использованием следующей аналогии. Современный «цифровой мир» де-факто основывается на нескольких теоремах математической логики, одна из которых утверждает, что если имеются две логические операции, заданные на логических переменных, способных принимать значения «ИСТИНА» и «ЛОЖЬ», то любые другие операции могут быть к ним сведены. В частности, именно на этом результате базируется построение схем двоичных сумматоров, лежащих в основе всей современной вычислительной техники.

Аналогичный результат получен в данной работе для произвольной многозначной логики, переменные которой могут принимать значения, множество которых изоморфно некоторому полю Галуа. А именно, справедлива следующая теорема, которая может трактоваться как основная теорема алгебраической теории многозначной логики.

**Теорема.** Любая функция многозначной логики, множество значений переменных которой изоморфно некоторому полю Галуа, представима в виде аналога полинома Жегалкина, записываемому в следующем виде

$$S\left(\{x_j\}_{j=1}^{j=N}\right) = \sum_{\vec{k}} S(a_{\vec{k}}) \prod_{i=1}^{i=M} f_{(\vec{k})_i}(x_i) \tag{1}$$

где  $N$  – число аргументов  $x_j$  функции многозначной логики  $S\left(\{x_j\}_{j=1}^{j=N}\right)$ ,  $M$  – число возможных значений, которые принимают переменные многозначной логики, равное числу элементов соответствующего поля Галуа,  $\vec{k}$  – мультииндекс, нумерующий возможные комбинации логических переменных,  $S(a_{\vec{k}})$  – значение, которое принимает функция  $S$  при данной конкретной комбинации переменных многозначной логики, задаваемой мультииндексом  $\vec{k}$ , функции  $f_j(x_i)$  определяются описываемым ниже образом.

В соответствии с общей теорией полей Галуа, все элементы произвольного поля Галуа являются корнями полинома

$$F(x) = x^M - x \tag{2}$$

где  $M$  – число элементов поля.

В частности, справедливо соотношение

$$x^{M-1} - 1 = \prod_{i=1}^{i=M-1} (x - a_i) \tag{3}$$

где  $a_i$  – все элементы поля Галуа, отличные от нуля.

Функции  $f_j(x_i)$  определены как

$$f_j(x_i) = \frac{x_i^M - x_i}{(x_i - a_j) \prod_{i \neq j} (a_i - a_j)} \tag{4}$$

Индекс  $(\vec{k})_i$  в формуле (1) задает определенный конкретный нижний индекс в формуле (4), который отвечает проекции мультииндекса  $\vec{k}$  на его компоненту, отвечающую номеру переменной  $x_j$ , фигурирующей в сомножителе произведения  $\prod_{i=1}^{i=M} f_{(\vec{k})_i}(x_i)$ .

**Доказательство.** В соотношении (1) фигурируют значения функции  $S$ , принимаемые при комбинации переменных многозначной логики, задаваемой мультииндексом  $\vec{k}$ . Фактически это – табулированные значения функции  $S$ , получаемые из тех или иных соображений (подчеркиваем, что в соответствии с базовыми подходами многозначной логики, любые логические функции определяются через таблицы).

Функция (4) по построению принимает значение 1, если  $i = j$  и значение 0, если  $i \neq j$ . Следовательно, при подстановке в формулу (1) определенной комбинации переменных в ноль обращаются все слагаемые, кроме того, мультииндекс  $\vec{k}$  которого в точности соответствует данной комбинации переменных

$$\prod_{i=1}^{i=M} f_{(\vec{k})_i}(x_i) \Big|_{\{x_i\} \leftrightarrow a_{\vec{k}}} = \begin{cases} 1, \{x_i\} \leftrightarrow a_{\vec{k}} \\ 0, \{x_i\} \leftrightarrow a_{\vec{k}} \end{cases} \tag{5}$$



Следовательно,

$$S\left(\left\{x_j\right\}_{j=1}^{j=N}\right)\Big|_{\{x_i\} \leftrightarrow a_k} = S(a_k) \tag{6}$$

Теорема доказана.

Проиллюстрируем возможности, даваемые доказанной нами теоремой на конкретном примере, отвечающем логическим операциям, выполняемым троичным сумматором, обеспечивающим сведение арифметических операций к логическим в смысле троичной логики, описанной в [11]. Можно видеть, что данный пример тесно перекликается с использованной выше аналогией, призванной пояснить необходимость дальнейшей алгебраизации операций многозначной логики.

Поле Галуа, использованное в [11], содержит три элемента  $GF(3) = \{-1, 0, 1\}$ . Данное поле позволяет проводить арифметические операции в троичной записи, которая связана с десятичным представлением числа следующим образом

$$b = n_k \cdot 3^k + n_{k-1} \cdot 3^{k-1} + \dots + n_1 \cdot 3 + n_0 \tag{7}$$

где  $b$  – число в десятичном представлении,  $n_j$  – числа, отвечающие троичным разрядам, которые принимают значения  $n_j = \{-1, 0, 1\}$ .

Будем использовать обозначение

$$-1 \rightarrow \tilde{1} \tag{8}$$

Тогда числа в используемом троичном представлении записываются как

$$b \leftrightarrow n_k n_{k-1} \dots n_1 n_0 \tag{9}$$

где  $n_j = \{\tilde{1}, 0, 1\}$

Можно построить следующие таблицы, отвечающие операции переноса разряда при реализации троичного сумматора, использующего вариант троичной логики, предложенный в [11].

**Таблица 1** – Значения логической функции, отвечающей операции переноса разряда при троичном суммировании

|               |          |         |         |
|---------------|----------|---------|---------|
| $F(-1, y, z)$ | $y = -1$ | $y = 0$ | $y = 1$ |
| $z = -1$      | -1       | -1      | 0       |
| $z = 0$       | -1       | 0       | 0       |
| $z = 1$       | 0        | 0       | 0       |

|              |          |         |         |
|--------------|----------|---------|---------|
| $F(0, y, z)$ | $y = -1$ | $y = 0$ | $y = 1$ |
| $z = -1$     | -1       | 0       | 0       |
| $z = 0$      | 0        | 0       | 0       |
| $z = 1$      | 0        | 0       | 1       |

| $F(1, y, z)$ | $y = -1$ | $y = 0$ | $y = 1$ |
|--------------|----------|---------|---------|
| $z = -1$     | 0        | 0       | 0       |
| $z = 0$      | 0        | 0       | 1       |
| $z = 1$      | 0        | 1       | 1       |

Покажем, что для данной операции можно указать аналог полинома Жегалкина, построенный в соответствии с доказанной выше теоремой.

На ее основании можно сформировать полином следующего вида.

$$F(x, y, z) = \sum_{i,j,k=1}^3 A_{ijk} W_i(x)W_j(y)W_k(z) \tag{10}$$

Каждое слагаемое этого полинома представляет собой с собой произведение трех функций  $W_i$ , каждая из которых зависит от своего аргумента, взятое с постоянным множителем  $A_{ijk}$ . По доказанной выше теореме, данные функции можно выбрать в виде

$$W_1(x) = -(x - a_2)(x - a_3) = -x(x - 1) \tag{11}$$

$$W_2(x) = -(x - a_1)(x - a_3) = -(x^2 - 1) \tag{12}$$

$$W_3(x) = -(x - a_2)(x - a_1) = -x(x + 1), \tag{13}$$

где введены следующие обозначения для элементов рассматриваемого поля.

$$a_1 = -1; a_2 = 0; a_3 = 1 \tag{14}$$

Легко заметить, что для данных функций выполняется соотношение, которое вытекает и из доказанной выше теоремы

$$W_j(a_i) = \delta_{ij} = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases} \tag{15}$$

Это соотношение говорит о том, что функция  $W_i(x)$  с определенным индексом  $i$  принимает единичное значение только тогда, когда её аргументом является элемент поля с тем же самым индексом  $i$ .

Если же индексы равны, то прямой подсчет показывает, что значение рассматриваемых функций при совпадающих значках действительно в точности равно единице. Имеем:

$$W_1(a_1) = -(-1 - 0)(-1 - 1) = 1 \tag{16}$$

$$W_2(a_2) = -(0 + 1)(0 - 1) = 1 \tag{17}$$

$$W_3(a_3) = -(1 - 0)(1 + 1) = -1 \cdot (-1) = 1 \tag{18}$$

Следовательно, если в полином (10) подставить конкретные значения трёх аргументов (использована индексация с нулевыми значками) то легко убедиться, что в данном случае ненулевым окажется только одно слагаемое из всех 27.

$$F(a_{i_0}, a_{j_0}, a_{k_0}) = \sum_{i,j,k=1}^3 A_{ijk} \delta_{i_{i_0}} \delta_{j_{j_0}} \delta_{k_{k_0}} = A_{i_0 j_0 k_0} \tag{19}$$

Отыщем конкретный вид аналога полинома Жегалкина для случая, когда рассматриваемая функция описывает перенос разряда в троичном сумматоре. Для этой цели воспользуемся представленными выше Таблицами 1. Имеем:

$$\begin{aligned}
 F(x, y, z) = & -W_1(x)W_1(y)W_1(z) - W_1(x)W_1(y)W_2(z) - \\
 & -W_1(x)W_2(y)W_1(z) - W_2(x)W_1(y)W_1(z) + W_2(x)W_3(y)W_3(z) + \\
 & + W_3(x)W_2(y)W_3(z) + W_3(x)W_3(y)W_2(z) + W_3(x)W_3(y)W_3(z)
 \end{aligned} \quad (20)$$

Для того, чтобы привести данный полином к обозримому виду, используем следующие тождества.

$$-(y-1)(z-1) - (y+1)(z+1) = -yz - yz - 1 - 1 = yz + 1 \quad (21)$$

$$(y-1)(z-1) - (y+1)(z+1) = -y - z - y - z = y + z \quad (22)$$

$$q + q + q = 0 \quad (23)$$

В итоге получаем, что искомое выражение для функции троичной логики, описывающей перенос разряда при троичном суммировании, описывается следующей функцией трех троичных переменных.

$$F(x, y, z) = xyz - (xy + xz + yz)(x + y + z) \quad (36)$$

Таким образом, предложенный аналог полинома Жегалкина действительно позволяет получить явный вид функции, которая изначально задается в виде таблицы. В частности, предложенный полином позволяет получить явную логическую функцию, которая описывает операцию переноса разряда при осуществлении троичного суммирования.

Таким образом, в данной работе предложен инструмент, позволяющий свести любые операции, осуществляемые в рамках любой из многозначных логик, к алгебраическим. Это создает основу для алгебраизации языковых форм, а далее – для совершенствования систем искусственного интеллекта, использующих многозначную логику, прикладное значение которых, в том числе связано с созданием боевых нейронных сетей.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Мун Г.А., Витулѳва Е.С., Байпакбаева С.Т., Кабдушев Ш.Б., Сулейменов И.Э. Проблема-тика постиндустриальной войны и деловые образовательные экосистемы // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2020. – N 4 (78). – С. 88-93.

2 Copeland D., Reynoldson L. How to avoid 'summoning the demon': The legal review of weapons with artificial intelligence. Pandora's Box. – 2017. – P. 97.

3 Verdiesen I. How do we ensure that we remain in control of our autonomous weapons? AI Matters. – 2017. – 3(3). – P. 47-55.

4 Kalimoldayev, M. N., Pak, I. T., Baipakbayeva, S. T., Mun, G. A., Shaltykova, D. B., & Suleimenov, I. E. (2018). Methodological basis for the development strategy of artificial intelligence systems in the Republic of Kazakhstan in the message of the president of the Republic of Kazakhstan dated October 5, News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series of geology and technical sciences. – 2018. – № 6. – P. 47-54.

5 Vitulyova Y.S., Bakirov A.S., Baipakbayeva S.T., Suleimenov I.E. Interpretation of the category of complex in terms of dialectical positivism // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 946(1). – P. 012004.

6 Suleimenov, I. E., Vitulyova, Y. S., Bakirov, A. S., & Gabrielyan, O. A. Artificial Intelligence: What is it? Proceedings of the 2020 6th International Conference on Computer and Technology Applications. – 2020. – P. 22–25. <https://doi.org/10.1145/3397125.3397141>

7 Патент на полезную модель Радиоуправляемая осколочная граната № 5775

8 Коньшин С.В., Витулёва Е.С., Сулейменов И.Э. Коммуникации в обществе: взгляд с позиций теории нейронных сетей // Вестник Гуманитарного факультета Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. профессора МА Бонч-Бруевича, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. МА Бонч-Бруевича». – 2019. – №11. – С. 38-44.

9 Сулейменов И.Э., Витулёва Е.С., Коньшин С.В. Код и знаковые системы с точки зрения диалектики информации // Вестник Гуманитарного факультета Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. профессора МА Бонч-Бруевича, Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. МА Бонч-Бруевича». – 2019. – №11. – С. 99-104.

10 Искусственный интеллект, учение о ноосфере и путь к бессмертию / Калимолдаев М.Н., Мун Г.А., Пак И.Т., Витулёва Е.С., Матрасулова Д.К., Сулейменов И.Э., – Алматы: ТОО «Полиграфкомбинат, 2019. – 273 с.

11 Moldakhan I., Shaltikova D. B., Egemberdyeva Z. M., Suleimenov I. E. Application of ternary logic for digital signal processing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 20250 – Vol. 946, № 1. – P. 012002.

## REFERENCES

1 Mun G.A., Vitulyova E.S., Bajpakbaeva S.T., Kabdushev SH.B., Sulejmenov I.E. Problematika postindustrial'noj vojny i delovye obrazovatel'nye ekosistemy // Vestnik Nacional'noj inzhenernoj akademii Respubliki Kazahstan. – 2020. – N 4 (78). – S. 88-93.

2 Copeland D., Reynoldson L. How to avoid 'summoning the demon': The legal review of weapons with artificial intelligence. Pandora's Box. – 2017. – P. 97.

3 Verdiesen I. How do we ensure that we remain in control of our autonomous weapons? AI Matters. – 2017. – 3(3). – P. 47-55.

4 Kalimoldayev, M. N., Pak, I. T., Baipakbayeva, S. T., Mun, G. A., Shaltykova, D. B., & Suleimenov, I. E. (2018). Methodological basis for the development strategy of artificial intelligence systems in the Republic of Kazakhstan in the message of the president of the Republic of Kazakhstan dated October 5, News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series of geology and technical sciences. – 2018. – № 6. – P. 47-54.

5 Vitulyova Y.S., Bakirov A.S., Baipakbayeva S.T., Suleimenov I.E. Interpretation of the category of complex in terms of dialectical positivism // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – № 946(1). – P. 012004.

6 Suleimenov, I. E., Vitulyova, Y. S., Bakirov, A. S., & Gabrielyan, O. A. Artificial Intelligence: What is it? Proceedings of the 2020 6th International Conference on Computer and Technology Applications. – 2020. – P. 22–25. <https://doi.org/10.1145/3397125.3397141>

7 Патент на полезную модель Радиоуправляемая осколочная граната № 5775

8 Kon'shin S.V., Vitulyova E.S., Sulejmenov I.E. Kommunikacii v obshchestve: vzglyad s pozicij teorii nejronnyh setej // Vestnik Gumanitarnogo fakul'teta Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo

universiteta telekommunikacij im. professora MA Bonch-Bruevicha, Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe byudzhetnoe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij im. prof. MA Bonch-Bruevicha». – 2019. – №11. – S. 38-44.

9 Sulejmenov I.E., Vitulyova E.S., Kon'shin S.V. Kod i znakovye sistemy s tochki zreniya dialektiki informacii // Vestnik Gumanitarnogo fakul'teta Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta telekommunikacij im. professora MA Bonch-Bruevicha, Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe byudzhetnoe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij im. prof. MA Bonch-Bruevicha». – 2019. – №11. – S. 99-104.

10 Iskusstvennyj intellekt, uchenie o noosfere i put' k bessmertiyu / Kalimoldaev M.N., Mun G.A., Pak I.T., Vitulyova E.S., Matrasulova D.K., Sulejmenov I.E., – Almaty: TOO «Poligrafkombinat, 2019. – 273 s.

11 Moldakhan I., Shaltikova D. B., Egemberdyeva Z. M., Suleimenov I. E. Application of ternary logic for digital signal processing. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 20250 – Vol. 946, № 1. – P. 012002.

**Г. А. МУН<sup>1,2</sup>, Е. С. ВИТУЛЁВА<sup>3</sup>, С. В. КОНЬШИН<sup>3</sup>,  
И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ<sup>4</sup>**

*<sup>1</sup>Қазақстан Республикасының Ұлттық Инженерлік академиясы,  
Алматы, Қазақстан*

*<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы қазақ ұлттық университетінің, Алматы, Қазақстан*

*<sup>3</sup>Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,  
Алматы, Қазақстан*

*<sup>4</sup>В.И. Вернадский атындағы Қырым федералды университеті, Симферополь, Ресей*

## **ЖАРТЫНА АВТОНОМИЯЛЫ ЖАРЫСТЫҚ НЕЙРЛІК ЖЕЛІЛЕРДІҢ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУІНІҢ АЛГОРИТМИЯЛЫҚ НЕГІЗІ: ТІЛДІК ФОРМАЛАРДЫ АЛГЕБРАИЗАЦИЯЛАУ**

*Қару-жарақ пен әскери техниканы дамытудың заманауи тенденциялары жасанды интеллект жүйелерін жетілдіру мәселесін, атап айтқанда, олардың адам интеллектімен бірте-бірте жақындасуын талап ететіні көрсетілген. Бұл өз кезегінде жасанды интеллект жүйелерінің алгоритмдік негізін, оның ішінде көп мәнді логикаға көшу арқылы жетілдіруді талап ететіні көрсетілген. Табиғи тілдің алгебрасы мен жауынгерлік нейрондық желілер тілін құру арасында тығыз байланыс орнатылды - ақпарат өңдеу адам миына қатысатын бірдей принциптер негізінде жүзеге асырылатын таратылған жүйелер. Мұның негізі табиғи тілді жеке тұлғаның интеллектінің сипатын айқындайтын трансперсоналды ақпараттық құрылым ретінде қарастыру болып табылады. Еркін көп мәнді логикаларды алгебраизациялаудың әмбебап құралы ұсынылған, оның элементтерінің жиынтығы белгілі бір Галуа өрісіне сәйкес келуі мүмкін. Мұндай құрал Жегалкин полиномының аналогы болып табылады, ол көрсетілген қасиетке ие ерікті көпмәнді логика үшін жарамды (Жегалкин көпмүшесінің өзі тек екілік логика жағдайына қатысты). Ұсынылған тәсілдің конструктивтілігін дәлелдейтін нақты мысал қарастырылады, құрамында үш элементі бар Галуа өрісін пайдаланатын үштік қосылғыштың жұмысына сәйкес келетін нақты логикалық өрнектер алынады.*

***Түйін сөздер:** жауынгерлік нейрондық желілер, жасанды интеллект, табиғи тіл, алгебралау, Жегалкин полиномы, Галуа өрістері.*

**G. A. MUN<sup>1,2</sup>, Y. S. VITULYOVA<sup>3</sup>, S. V. KONSHIN<sup>3</sup>,  
I. E. SULEIMENOV<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Kazakh national university named after al-Farabi, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Almaty university of power engineering and telecommunications named after Gumarbek Daukeyev, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia

**ALGORITHMIC BASIS FOR THE FUNCTIONING OF PRIVATE  
AUTONOMOUS COMBAT NEURAL NETWORKS: ALGEBRAIZATION  
OF LANGUAGE FORMS**

*It is shown that the modern development of weapons and military equipment will trigger the issue of improving artificial intelligence systems, in particular, their gradual convergence with human intelligence. It is shown that this requires the discovery of the algorithmic basis of artificial intelligence systems, including on the basis of the transition to multivalued logics. A close relationship has been established between the algebraization of natural language and the creation of the language of combat neural networks - distributed systems in which processing is carried out based on the same operations that are involved in the human brain. The basis for this is the natural definition of language as a transpersonal structure, which largely determines the nature of human intelligence. A universal means of aggregating police multi-valued logics is provided, many elements can be placed at the disposal of General Galois. Thus, an analogue of the Zhegalkin polynomial is used, which is valid for achieving multi-valued logic with the use of properties (the Zhegalkin polynomial itself applies only to the case of binary logic). A selective case study that proves the constructiveness of the proposed application, a discoverable solution that tests the operation of a ternary adder using a Galois field containing three elements.*

**Keywords:** combat neural networks, artificial intelligence, natural language, algebraization, Zhegalkin polynomial, Galois fields.



D. A. OMARIYEVA

*Amanzholov University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan*

*E-mail: Dinara\_2205@mail.ru*

## STABILIZED FINITE ELEMENT METHOD FOR THE SATURATION EQUATION IN THE TWO-PHASE NONEQUILIBRIUM FLUID FLOW PROBLEM

*In this paper, an approximate method for solving the saturation equation in the problem of two-phase nonequilibrium flow in porous media is constructed. This problem is being studied as part of the work carried out under a grant project funded by the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Grant No. AP08053189. This equation refers to an equation of the convection-diffusion type with a predominance of convection and with an additional term containing the third-order derivative of the solution. Due to the hyperbolic nature of the equation, its solution is accompanied by a number of difficulties that lead to the need for a careful choice of the solution method. One of the difficulties is the appearance of non-physical oscillations at the interface of the two phases. Three classical stabilized finite element methods (SUPG, GLS and USFEM) are compared based on computational experiments. In addition, comparative calculations were performed using several stabilization parameters due to the sensitivity of the stabilized methods to the choice of these parameters and the significant dependence of stability and accuracy on them. Methodological calculations are carried out and the results of calculations with different values of mesh configurations, stabilization parameters are presented.*

**Key words:** *finite element method, stabilized method, nonequilibrium flow in porous media, SUPG, GLS, USFEM.*

**Introduction.** The dynamics of the fluid flows of a multiphase fluid depends in a nonlinear way on both the structural and mechanical properties of the fluid and the properties of the surrounding skeleton. However, in real reservoir conditions, the property of delayed phase saturation has a significant effect on the flow process, the study of which led to the emergence of the theory of non-equilibrium flows. The influence of nonequilibrium can be significant: the time for establishing saturation in the conditions of oil fields is on the order of a year.

One of the main models of nonequilibrium flow [1] is based on thermodynamic arguments and volume averaging of microscopic equations of conservation of mass and moment, which led to the need to add additional terms to the macroscopic equations. In [1], the concept of dynamic capillary pressure  $P_c^{\text{dyn}}$  (instantaneous local difference between phase pressures) was introduced, which relates to the static capillary pressure  $P_c^{\text{stat}}$  (capillary pressure under quasi-static displacement) by the ratio

$$P_c^{\text{dyn}} \equiv p_o - p_w = P_c^{\text{stat}} - \tau_H (s) \partial_t s, \quad (1)$$

where  $p_o$  and  $p_w$  are the phase pressures of oil and water,  $\tau_H$  is the phenomenological coefficient taking positive values, and  $s$  is the water saturation. Dynamic capillary pressure has been the subject of many experimental [2] and theoretical [3, 4] studies.

Taking into account the nonequilibrium law (1), the two-phase nonequilibrium flow problem is reduced to solving a system of partial differential equations for determining pressure and saturation fields. In the paper of the authors [5], an iterative method for solving the pressure equation based on the mixed finite element method is constructed.

The aim of this paper is to develop a finite element method for solving the saturation equation in a two-phase nonequilibrium flow model with the nonequilibrium law proposed in [1]. This equation refers to an equation of the convection-diffusion type with a predominance of convection and with an additional term containing the third-order derivative of the solution. Due to the hyperbolic nature of the equation, its solution is accompanied by a number of difficulties that lead to the need for a careful choice of the solution method. One of them is associated with a jump of the solution at the interface, when the saturation is accompanied by a sharp change in the transition from one zone to another.

It is known [6-8] that the application of the classical Galerkin method to calculate saturation field using the widely used IMPES method in the neighborhood of the gap leads to non-physical oscillations. One way to overcome such oscillations is the streamline upwind Petrov-Galerkin finite element method (SUPG), which was proposed by Brooks and Hughes and later earned the attention of many researchers. The essence of the method is to add an additional artificial viscosity with a certain stabilizing parameter. Currently, quite a few varieties and implementations of the method have been developed. Applications of the SUPG method to the solution of saturation equations are known [9].

Other popular method for solving convection-dominated equations are the Galerkin least squares method (GLS). An essential feature of the GLS method is the modification of the weak form construction for the Galerkin method and acts as a means of stabilizing the fluid flow equations. The GLS is closely related to SUPG, but is a conceptually simpler and more general methodology applicable to a wide range of problem classes. There are known applications of the method to the implementation of the ice cover model [10], incompressible Navier-Stokes equations [11], Maxwell model with upper convection [12] and others.

Another stabilization method leads to the unusual stabilized finite element method (USFEM), proposed in [13]. The main idea of the method is to extend the space of piecewise continuous polynomials by functions defined element-by-element, in such a way as to improve accuracy and stability. The solution is sought as the sum of two solutions from two spaces – the space of linear polynomials and the space of one basis functions called bubble functions. This method is used to solve the stationary convection-reaction problem [14], to implement the large vortex model [15], and many others.

The disadvantages of the stabilized methods include their sensitivity to the choice of stabilization parameters, which significantly affects the stability and accuracy of the method. Therefore, the problem of choosing a parameter should be thoroughly investigated. There are a number of papers [16-18] devoted to the study and comparison of the stabilizing parameters for the Navier-Stokes equations, the convection-diffusion-reaction equation, and others.

This paper compares three classical stabilized finite element methods (SUPG, GLS, and USFEM) to the initial boundary problem for saturation equation, as well as the stabilization parameters based on computational experiments.

**Formulation of the problem.** In a bounded domain  $Q_T = \Omega \times (0, T)$ , where  $\Omega \subset R^2$  with the boundary  $\Gamma = \Gamma_D \cup \Gamma_N$ ,  $\Gamma_D \cap \Gamma_N = \emptyset$ , the following initial boundary value problem is considered [1]:

$$\phi \partial_t s + \nabla \cdot \bar{u}_w = q_w, \tag{2}$$

$$-\phi \partial_t s + \nabla \cdot \bar{u}_o = q_o, \tag{3}$$

$$\bar{u}_\alpha = -kk_\alpha(s) \mu_\alpha^{-1} \nabla p_\alpha, \alpha \in \{w, o\}, \tag{4}$$

$$p_o - p_w = p_c(s) - L \partial_t s, \tag{5}$$

$$s(x, 0) = s_0(x), x \in \Omega, \tag{6}$$

$$p(x, t) = p_{inj}, (x, t) \in \Gamma_D \times (0, T], \tag{7}$$

$$\nabla p \cdot \bar{n} = 0, (x, t) \in \Gamma_N \times (0, T], \tag{8}$$

where  $\bar{u}_\alpha = (u_{\alpha 1}(x, t), u_{\alpha 2}(x, t))$  and  $p_\alpha = p_\alpha(x, t)$  are the velocity and pressure of the phase  $\alpha$ , respectively,  $s = s(x, t)$  is the water saturation,  $p_c = p_c(s)$  is the capillary pressure,  $\bar{n}$  is the external unit normal to the boundary  $\Gamma$ ,  $L = L(s) \geq 0$ .

To derive the computational model, introduce the total velocity vector as follows:

$$\bar{u} = \bar{u}_w + \bar{u}_o. \tag{9}$$

Using (4), we obtain

$$\bar{u} = -k(\lambda_w \nabla p_w + \lambda_o \nabla p_o), \tag{10}$$

where  $\lambda_\alpha = k_\alpha \mu_\alpha^{-1}$  is the mobility of the phase  $\alpha$ . Introduce a new variable, global pressure  $p$ , such that

$$\lambda_w \nabla p_w + \lambda_o \nabla p_o = \lambda \nabla p, \tag{11}$$

where  $\lambda = \lambda_w + \lambda_o$  is the total mobility. Using the equations (2)-(5) it is not difficult to write out the explicit form of the variable  $p$ :

$$p = h_w p_w + h_o p_o + \frac{1}{2}(h_w - h_o) p_c - \frac{1}{2} \int_{s_c}^s (f_w - f_o) p'_c(\xi) d\xi, \tag{12}$$

where  $h_w = h_w(s)$  and  $h_o = h_o(s)$  are some functions such that  $h_w + h_o = 1$ , and  $f_\alpha = \frac{\lambda_\alpha}{\lambda}$ .

To obtain the pressure equation, sum the equations (2) and (3) and use the equations (10) and (11):

$$\begin{aligned} \nabla \cdot \bar{u} &= 0, \\ (k\lambda)^{-1} \bar{u} + \nabla p &= 0. \end{aligned} \tag{13}$$

It is not difficult to show that the phase velocities are expressed in terms of the total velocity by the relation

$$\vec{u}_w = f_w(s)\vec{u} - \gamma(s)\nabla s - \gamma_1(s)\nabla(L\partial_t s), \tag{14}$$

where  $\gamma(s) = -K\lambda_o(s)f_w(s)\frac{dp_c}{ds} > 0$ ,  $\gamma_1(s) = K\lambda_o(s)f_w(s) > 0$ . Substituting (14) into (2), we obtain the equation for saturation:

$$\phi\partial_t s + f_w'(s)\vec{u} \cdot \nabla s - \nabla \cdot (\gamma(s)\nabla s) - \nabla \cdot (\gamma_1(s)\nabla(L\partial_t s)) = 0. \tag{15}$$

Thus, a computational model consisting of the equations (13), (15) and the corresponding initial and boundary conditions is obtained.

In [5], a finite element method for solving equations (13) is constructed, and the convergence of the method is investigated and its a posteriori analysis is carried out. Let us focus on solving the equation (15) in more detail, assuming the vector  $\vec{u}$  is known. Namely, in the domain  $QT$  defined above, consider the equation

$$\partial_t s + As + B\partial_t s = f, (x, t) \in Q_T \tag{16}$$

$$s(x, 0) = s_0, x \in \bar{\Omega}, \tag{17}$$

$$s = g_D, x \in \Gamma_D; \nabla s \cdot \vec{n} = g_N, x \in \Gamma_N, t > 0, \tag{18}$$

where

$$As = \vec{u} \cdot \nabla s - k_1 \nabla^2 s, Bs = -k_2 \nabla^2 s,$$

$f, g_D, g_N$  are given functions,  $k_1, k_2$  are some constants. Assume that the problem has a unique solution in the class of sufficiently smooth functions.

$$\text{Let } V = \{v \in H^1(0, T; H^1(\Omega)) : v|_{\Gamma_D} = g_D\}, V_0 = \{v \in H^1(\Omega) : v|_{\Gamma} = 0\}.$$

Define a weak statement of the problem (16), (18): find  $s \in V$  such that for all  $w \in V_0$  :

$$(\partial_t s, w) + (k_1 \nabla s, \nabla w) + (\vec{u} \cdot \nabla s, w) + (k_2 \nabla \partial_t s, \nabla w) = (f, w), \tag{19}$$

where  $(\cdot, \cdot)$  denotes the scalar product in  $L^2(\Omega)$ .

**Stabilized methods.** Introduce the quasi-uniform triangulation  $\Theta$  in  $\Omega$  and let  $N_\Theta$  be the number of elements in  $\Theta$ . Let  $V_h \subset V$  be the finite element space defined as follows:

$$V_h = \{w \in V, v|_K \in P_1(K) \forall K \in \Theta\},$$

where  $P_k(K)$  is the space of polynomials of degree at most  $k$  on the triangle  $K$ . Introduce a uniform partition of the time interval  $[0, T]$  by points  $t_n = n\tau$ ,  $N\tau = T$ ,  $\tau > 0$ . Denote a finite dimensional approximation of  $s$  at  $t = t_n$  by  $s_h^n$ . Then the standard Galerkin method for (16)-(18) is defined as follows. Let  $s_h^{n-1} \in V_h$  be known. Find  $s_h^n \in V_h$ , such that

where 
$$(s_h^n - s_h^{n-1}, w_h) + \tau a(s_h^n, w_h) + b(s_h^n - s_h^{n-1}, w_h) = \tau \varphi(w_h), \forall w_h \in V_h, \tag{20}$$

$$a(s_h, w_h) = (k \nabla s_h, \nabla w_h) + (\vec{v} \cdot \nabla s_h, w_h), \quad b(s_h, w_h) = (k \nabla s_h, \nabla w_h),$$

$$\varphi(w_h) = (f, w_h) + \int_{\Gamma_N} w_h g_N d\sigma.$$

In previous studies of the authors, the equation (19) was solved by a combined finite volume element method and the following result was obtained.

Theorem 1. If the condition  $f \in L^2(Q_T)$  holds and  $\tau$  is sufficiently small, there exists a unique sequence of solutions  $s_h^n, n = 1, 2, \dots, N$  such that

$$\|s_h^n\|_0 + \tau \sqrt{\frac{k_1}{2T}} \|\nabla s_h^n\|_0 \leq \max \left\{ \sqrt{3}, \sqrt{3k_1L} + \tau \sqrt{\frac{k_1}{2T}} \right\} \|f^n\|_1. \tag{21}$$

Theorem 2. Let  $s$  be the solution to (19) and  $s_h^n$  be the sequence of solutions to (20). Then under the condition  $N_0 \nu^{-1} \|\vec{v}\|_0 \leq \frac{1}{4}$ , there exists  $\tau_0 > 0$  such that for  $\tau \leq \tau_0$

$$\|s(t_n) - s_h^n\|_0 + c_1 \tau \|s(t_n) - s_h^n\|_1 \leq C(\tau^2 + h^2).$$

In this paper, we study the stabilized finite element methods for solving (20). The main class of these methods is based on an extension of the discrete variational formulation using a grid-dependent stabilization term. A general view of these methods for (20) is defined as follows: find  $s_h \in V_h$  such that

$$(s_h^n - s_h^{n-1}, w_h) + \tau a(s_h^n, w_h) + b(s_h^n - s_h^{n-1}, w_h) + \tau S(s_h^n, w_h) = \tau \varphi(w_h), \forall w \in V_h,$$

where  $S(-, -)$  is the stabilizing term added to the standard Galerkin formulation, whose general form is

$$S(s_h, w_h) = \sum_K \tau_K (As_h - \varphi, \tilde{A}w_h)_K,$$

$\tau_K$  is the stabilization parameter. The specific choice of the operator  $\tilde{A}$  leads to different stabilized methods. For example [16],

$$\begin{aligned} \text{SUPG:} & \quad \tilde{A}w_h = \vec{v} \cdot \nabla w_h, \\ \text{GLS:} & \quad \tilde{A}w_h = -k \Delta w_h + \vec{v} \cdot \nabla w_h, \\ \text{USFEM:} & \quad \tilde{A}w_h = k \Delta w_h + \vec{v} \cdot \nabla w_h. \end{aligned} \tag{22}$$

One of the important points in the implementation of stabilized methods is the choice of the stabilization parameter  $\tau_K$ . The parameter is selected based on the properties of the problem, such as the discrete maximum principle, convergence analysis, stability, and others. The examples of stabilizing parameters are as follows [17-20]:

$$\begin{aligned}
 \tau_K^c &= \left( \frac{4k_1}{h_K^2} + \frac{2|\bar{v}_K|}{h_K} \right)^{-1}, & \tau_K^s &= \left( 9 \left( \frac{4k_1}{h_K^2} \right)^2 + \left( \frac{2|\bar{v}_K|}{h_K} \right)^2 \right)^{-\frac{1}{2}}, \\
 \tau_K^a &= \left( \frac{12k_1}{h_K^2} + \frac{2|\bar{v}_K|}{h_K} \right)^{-1}, & \tau_K^{fv} &= \left( \frac{6k_1}{h_K^2} \zeta \left( \frac{|\bar{v}_K| h_K}{3k_1} \right) \right)^{-1},
 \end{aligned} \tag{23}$$

where  $h_K$  is diameter of the element  $K$ ,  $\zeta(x) = \{1, 0 \leq x \leq 1; x, x \geq 1\}$ .

**Comparison of the stabilizing parameters.** Let us compare the stabilized methods (22) and the stabilizing parameters (23) based on two computational experiments. The first computational experiment is to estimate the deviation from the upper and lower bounds of the solution using stabilized methods and stabilizing parameters and different grid configurations. The second computational experiment is to compare an approximate solution with a known exact solution.

Problem 1. In  $Q_T = \Omega \times (0, T)$ , where  $\Omega = (0, 1) \times (0, 1)$  consider the equation (16) with the parameters  $T = 1$ ,  $\bar{v} = (0.15, 1)$ ,  $k_1 = 10^{-4}$ , and initial and boundary conditions

$$s(x, 0) = 0, \quad s(x, t) = 1, \quad x \in \{x_1 = 0\}; \quad s(x, t) = 0, \quad x \in \{x_2 = 0\} \cup \{x_1 = 1\},$$

$$\nabla s \cdot \bar{n} = 0, \quad x \in \{x_2 = 1\}.$$

In the computational experiment, three grid configurations containing 968, 3744, and 15110 elements were used. The value of the parameter  $\tau$  is set to  $10^{-2}$ . The calculations were performed until the time layer  $n = 100$ , corresponding to the time value  $T = 1$ , was achieved.

Implementation of (20) without the use of stabilization leads to the appearance of non-physical oscillations with an approach to the final time the absolute value of which is more than 60%. Table 1 illustrates the dependence of the deviation of the approximate solution on the exact bounds, depending on the stabilization method and the stabilizing parameters. The use of stabilization allows one to extinguish non-physical oscillations. In general, the deviation from the exact bounds is less than 3% for all three methods considered.

**Table 1** – Results of the computational experiments for Problem 1

| $N_e$ | Exact bounds |      | Without stabilization |      | SUPG + $\tau_c$ |      | GLS + $\tau_c$ |      | USFEM + $\tau_c$ |      |
|-------|--------------|------|-----------------------|------|-----------------|------|----------------|------|------------------|------|
|       | min          | max  | min                   | max  | min             | max  | min            | max  | min              | max  |
| 968   | 0.00         | 1.00 | -0.34                 | 1.63 | -0.03           | 1.03 | -0.02          | 1.02 | -0.02            | 1.03 |
| 3744  | 0.00         | 1.00 | -0.26                 | 1.28 | -0.02           | 1.01 | -0.01          | 1.00 | -0.01            | 1.01 |
| 15110 | 0.00         | 1.00 | -0.17                 | 1.13 | -0.01           | 1.00 | -0.01          | 1.00 | 0.00             | 1.01 |



Problem 2. In  $Q_T = \Omega \times (0, T)$ , where  $\Omega = (-0.5, 0.5) \times (-0.5, 0.5)$  the problem (16)-(18) with the parameters  $k_1 = 10^{-4}$ ,  $\vec{v} = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right)$  and the right-hand side

$$f(x, t) = -\frac{1}{\sqrt{2}\epsilon} \phi^2(x, t, \epsilon) + \frac{1}{2\epsilon} \phi^2(x, t, \epsilon) - \frac{1}{\epsilon^2} k_1 \phi^2(x, t, \epsilon) \tanh\left(\frac{x_1 + x_2 - t}{2\epsilon}\right) - k_2 \left[ \frac{1}{\epsilon^3} \phi^2(x, t, \epsilon) \tanh\left(\frac{x_1 + x_2 - t}{2\epsilon}\right)^2 - \frac{1}{2\epsilon^3} \phi^4(x, t, \epsilon) \right]$$

is considered where  $\phi(x, t, \epsilon) = \operatorname{sech} \frac{x_1 + x_2 - t}{2\epsilon}$  and  $\epsilon = 10^{-2}$ . The exact solution of the problem is  $s(x, t) = 0.5 - \tanh \frac{x_1 + x_2 - t}{2\epsilon}$ .

The accuracy value was estimated in the  $L^2$ -norm. Two values of the  $\tau$  parameter equal to 1/30 and 1/60 are accepted. The grid configuration was chosen in the same way as in Problem 1. To estimate the influence of the term with the third derivative of the solution, we considered two cases,  $k_2 = 10^{-6}$  and  $k_2 = 10^{-2}$ . According to the results of computational experiments, the SUPG method was the most effective in the first case, and GLS and USFEM are in the second.

**Table 2** – Results of the computational experiments for Problem 2, case  $k_2 = 10^{-6}$

| Methods               | $N_e$ | $\tau = 1/30$ |            |            |            | $\tau = 1/60$ |            |            |            |
|-----------------------|-------|---------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
|                       |       | $\tau_K^c$    | $\tau_K^s$ | $\tau_K^a$ | $\tau_K^f$ | $\tau_K^c$    | $\tau_K^s$ | $\tau_K^a$ | $\tau_K^f$ |
| 1                     | 2     | 3             | 4          | 5          | 6          | 7             | 8          | 9          | 10         |
| Without stabilization | 968   | 1.2052        | 1.1246     | 1.0218     | 1.1089     | 1.1473        | 1.0045     | 0.9286     | 1.0083     |
|                       | 3744  | 0.8934        | 0.9924     | 0.8214     | 1.0086     | 0.9645        | 0.8531     | 0.6425     | 0.8028     |
|                       | 15110 | 0.6911        | 0.7512     | 0.6457     | 0.8645     | 0.6654        | 0.6491     | 0.4289     | 0.6732     |
| SUPG                  | 968   | 0.0515        | 0.0617     | 0.0654     | 0.0618     | 0.0143        | 0.0183     | 0.0192     | 0.0185     |
|                       | 3744  | 0.0212        | 0.0399     | 0.0347     | 0.0313     | 0.0071        | 0.0089     | 0.0093     | 0.0090     |
|                       | 15110 | 0.0091        | 0.0148     | 0.0098     | 0.0100     | 0.0033        | 0.0045     | 0.0047     | 0.0043     |
| GLS                   | 968   | 0.0623        | 0.0692     | 0.0649     | 0.0621     | 0.0147        | 0.0185     | 0.0188     | 0.0187     |
|                       | 3744  | 0.0325        | 0.0347     | 0.0332     | 0.0396     | 0.0079        | 0.0089     | 0.0090     | 0.0093     |
|                       | 15110 | 0.0112        | 0.0119     | 0.0113     | 0.0136     | 0.0032        | 0.0041     | 0.0043     | 0.0041     |
| USFEM                 | 968   | 0.0647        | 0.0645     | 0.0657     | 0.0589     | 0.0076        | 0.0189     | 0.0191     | 0.0190     |
|                       | 3744  | 0.0344        | 0.0375     | 0.0345     | 0.0315     | 0.0527        | 0.0095     | 0.0096     | 0.0095     |
|                       | 15110 | 0.0128        | 0.0112     | 0.0137     | 0.0132     | 0.0497        | 0.0043     | 0.0042     | 0.0044     |

**Table 3** – Results of the computational experiments for Problem 2, case  $k_2 = 10^{-2}$

| Methods               | $N_e$ | $\tau = 1/30$ |            |            |            | $\tau = 1/60$ |            |            |            |
|-----------------------|-------|---------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|
|                       |       | $\tau_K^c$    | $\tau_K^s$ | $\tau_K^a$ | $\tau_K^f$ | $\tau_K^c$    | $\tau_K^s$ | $\tau_K^a$ | $\tau_K^f$ |
| 1                     | 2     | 3             | 4          | 5          | 6          | 7             | 8          | 9          | 10         |
| Without stabilization | 968   | 1.3211        | 1.2835     | 1.1256     | 1.2164     | 1.3858        | 1.2764     | 1.1014     | 1.4875     |
|                       | 3744  | 0.7547        | 0.8436     | 0.9182     | 0.9384     | 1.0645        | 0.8621     | 0.7574     | 1.0064     |
|                       | 15110 | 0.5583        | 0.6487     | 0.7365     | 0.6912     | 0.8257        | 0.6471     | 0.5314     | 0.6947     |
| SUPG                  | 968   | 0.0789        | 0.0808     | 0.0758     | 0.0718     | 0.0296        | 0.0287     | 0.0214     | 0.0273     |
|                       | 3744  | 0.0352        | 0.0438     | 0.0328     | 0.0394     | 0.0131        | 0.0114     | 0.0112     | 0.0117     |
|                       | 15110 | 0.0128        | 0.0200     | 0.0111     | 0.0182     | 0.0068        | 0.0051     | 0.0054     | 0.0058     |
| GLS                   | 968   | 0.0658        | 0.0687     | 0.0687     | 0.0654     | 0.0141        | 0.0114     | 0.0147     | 0.0146     |
|                       | 3744  | 0.0368        | 0.0341     | 0.0348     | 0.0323     | 0.0054        | 0.0047     | 0.0075     | 0.0052     |
|                       | 15110 | 0.0193        | 0.0187     | 0.0158     | 0.0187     | 0.0021        | 0.0024     | 0.0036     | 0.0027     |
| USFEM                 | 968   | 0.0618        | 0.0614     | 0.0625     | 0.0682     | 0.0747        | 0.0141     | 0.0116     | 0.0112     |
|                       | 3744  | 0.0384        | 0.0351     | 0.0387     | 0.0337     | 0.0674        | 0.0051     | 0.0057     | 0.0053     |
|                       | 15110 | 0.0161        | 0.0163     | 0.0178     | 0.0187     | 0.0131        | 0.0029     | 0.0025     | 0.0021     |

**Conclusion.** Thus, the application and comparison of the stabilized SUPG, GLS, and USFEM finite element methods for solving two-phase non-equilibrium flow problem have been investigated. The study showed the effectiveness of the methods considered. The results obtained will be used in subsequent studies.

The work was supported by grant funding from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, grant AP08053189, 2020-2022.

**REFERENCES**

- 1 Hassanizadeh S. M., Celia M. A., Dahle H. K. Dynamic effects in the capillary pressure-saturation relationship and its impact on unsaturated flow / *Vadose Zone Journal*. 2002.– V. 1, No. 1. – p. 38–57.
- 2 O’Carroll D. M., Phelan T. J., Abriola L. M. Exploring dynamic effects in capillary pressure in multistep outflow experiments / *Water Resour Res*. 2005. – V. 41, No. 11.– p. W11419.
- 3 Cuesta C., van Duijn C. J., Hulshof J. Infiltration in porous media with dynamic capillary pressure: travelling waves / *EurJ Appl Math*. 2000. –V. 11.– p. 381–397.
- 4 DiCarlo D.A., Juanes R., LaForce T., Witelski T.P. Nonmonotonic travelling wave solutions of infiltration in porous media / *Water Resour Res*. 2008.– V. 44. – p. W02406.
- 5 Байгереев Д. Р., Темирбеков Н. М., Омариева Д. А. Построение итерационного метода решения нелинейного уравнения эллиптического типа на основе смешанного метода конечных элементов / *Вестник КазНУ. Серия математика, механика, информатика*. 2020. – V. 106, No. 2. – p. 104–120.
- 6 Juanes R. A variational multiscale finite element method for multiphase flow in porous media / *Finite Elements in Analysis and Design*. 2005. –V. 41. – p. 763–777.

7 Helmig R., Huber R. Comparison of Galerkin type discretization techniques for two-phase flow in heterogeneous porous media / *Advances in Water Resources*. 1998. – V. 21, No. 8. – p. 697–711.

8 Иванов М.И., Кремер И.А., Лаевский Ю.М. Об одной противопотоковой схеме решения задачи фильтрации / *Сибирские электронные математические известия*. 2019. – V. 16. – p. 757–776.

9 Васильева М.В., Прокопьев Г.А. Численное решение задачи двухфазной фильтрации с неоднородными коэффициентами методом конечных элементов / *Математические заметки СВФУ*. 2018. – V. 24, No. 2. – p. 46–60.

10 Helanow C., Ahlkrone J. Stabilized equal low order finite elements in ice sheet modeling – accuracy and robustness / *Computational Geosciences*. 2018. – V. 22. – p. 951–974.

11 Eikelder M., Akkerman I. Correct energy evolution of stabilized formulations: The relation between VMS, SUPG and GLS via dynamic orthogonal small scales and isogeometric analysis. II: The incompressible Navier–Stokes equations / *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2018. – V. 340. – p. 1–20.

12 Zhou S., Hou L. Least Squares Finite Element Method for the Steady Upper Convected Maxwell Fluid / *Advances in Pure Mathematics*. 2015. – V. 5, No. 5. – p. 233239.

13 Franca L. P., Farhat C., Lesoinne M., Russo A. Unusual stabilized finite element methods and residual free bubbles / *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 1998. – V. 27. – p. 159–168.

14 Alvarez C. A., Coutinho A. On computing distance function for Level Set Method using US-FEM/Rothe as stabilized formulation / *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*. 2013. – V. 29, No. 4. – p. 189–195.

15 Gravemeier V., Wall W., Ramm E. Large eddy simulation of turbulent incompressible flows by a three level finite element method / *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 2005. – V. 48. – p. 1067–1099.

16 Sendur A. A Comparative Study on Stabilized Finite Element Methods for the Convection-Diffusion-Reaction Problems / *Journal of Applied Mathematics*. 2018. – No. 4259634. – p. 1–16.

17 John V., Schmeier E. Finite element methods for time dependent convection-diffusion-reaction equations with small diffusion / *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 2008. – V. 198. – p. 475–494.

18 Asensio M., Russo A. Stabilized Finite Elements with Matlab. 2002.

19 Knobloch P. On the choice of the SUPG parameter at outflow boundary layers // *Advances in Computational Mathematics*. 2009. – V. 31, No. 369. – p. 369–389.

20 Hauke G., Garcia Olivares A. Variational subgrid scale formulations for the advection-diffusion-reaction equation / *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 2001. – V. 190. – p. 6847–6865.

## Д. А. ОМАРИЕВА

*Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университеті, Өскемен қ.*

### ЕКІ ФАЗАЛЫ ТЕПЕ-ТЕҢСІЗ ФИЛЬТРАЦИЯ ЕСЕБІНДЕГІ ҚАНЫҚТЫҚ ҮШІН ТЕНДЕУДІ ШЕШУДІҢ ТҰРАҚТАНДЫРЫЛҒАН СОҢҒЫ ЭЛЕМЕНТТЕР ӘДІСІ

*Бұл жұмыста екі фазалы тепе-теңсіз фильтрация есебіндегі қанықтық үшін теңдеуді шешудің жуықтау әдісі жасалды. Бұл есеп ҚР БҒМ қаржыландыратын АР08053189 жобасы*

бойынша орындалатын зерттеулер шеңберінде қарастырылады. Бұл теңдеу конвекциясы басым болатын және шешімнің үшінші ретті туындысы қосымша кіретін конвекция-диффузия түріндегі теңдеуге жатады. Теңдеудің гиперболалық сипатына байланысты оны шешу бірқатар қиындықтар туғызады және шешу әдісін мұқият таңдау қажеттілігіне әкеледі. Қиындықтардың бірі - екі фазаның шекарасында физикалық емес тербелістердің пайда болуы. Есептеу тәжірибелеріне сүйене отырып, үш классикалық тұрақтандырылған ақырлы элементтер әдістері (SUPG, GLS және USFEM) салыстырылды. Сонымен қатар, тұрақтандырылған әдістердің осы параметрлерді таңдауға сезімталдығына және орнықтылық пен дәлдіктің оларға айтарлықтай тәуелділігіне байланысты бірнеше тұрақтандыру параметрлерін қолдана отырып салыстырмалы есептеулер жүргізілді. Әдістемелік есептеулер жүргізілді және тор конфигурациясы мен тұрақтандыру параметрлерінің әртүрлі мәндерін пайдаланып жүргізілген есептеулер нәтижелері ұсынылды.

**Түйін сөздер:** ақырлы элементтер әдісі, тұрақтандырылған әдіс, тепе-теңсіз фильтрация, SUPG, GLS, USFEM.

**Д. А. ОМАРИЕВА**

*Восточно-Казахстанский университет имени Сарсена Аманжолова,  
г. Усть-Каменогорск*

### **СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ НАСЫЩЕННОСТИ В ЗАДАЧЕ ФИЛЬТРАЦИИ ДВУХФАЗНОЙ НЕРАВНОВЕСНОЙ ЖИДКОСТИ**

*В данной работе построен приближенный метод решения уравнения для насыщенности в задаче двухфазной неравновесной фильтрации. Данная задача изучается в рамках исследований, выполняемых по проекту, финансируемому МОН РК, грант AP08053189. Это уравнение относится к уравнению типа конвекции-диффузии с преобладанием конвекции и с дополнительным членом, содержащим производную решения третьего порядка. Из-за гиперболического характера уравнения его решение сопровождается рядом трудностей, которые приводят к необходимости тщательного выбора метода решения. Одной из трудностей является появление нефизических осцилляций на границе раздела двух фаз. На основе вычислительных экспериментов проведено сравнение трех классических стабилизированных методов конечных элементов (SUPG, GLS и USFEM). Кроме того, проведены сравнительные расчеты с использованием нескольких параметров стабилизации в связи с чувствительностью стабилизированных методов к выбору данных параметров и значительной зависимостью стабильности и точности от них. Проведены методические расчеты и представлены результаты расчетов с различными значениями конфигураций сетки и параметров стабилизации.*

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, стабилизированный метод, неравновесная фильтрация, SUPG, GLS, USFEM.

**Б. А. УРМАШЕВ\***, **А. Т. ТУРСЫНБАЙ**, **А. Б. АМАНТАЕВА**, **М. М. МУХАТОВ**

*КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

## ПРИЕМЫ СОЗДАНИЯ ЗАДАННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЛИНЕЙНЫХ КАМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ФАРМАКОКИНЕТИКИ

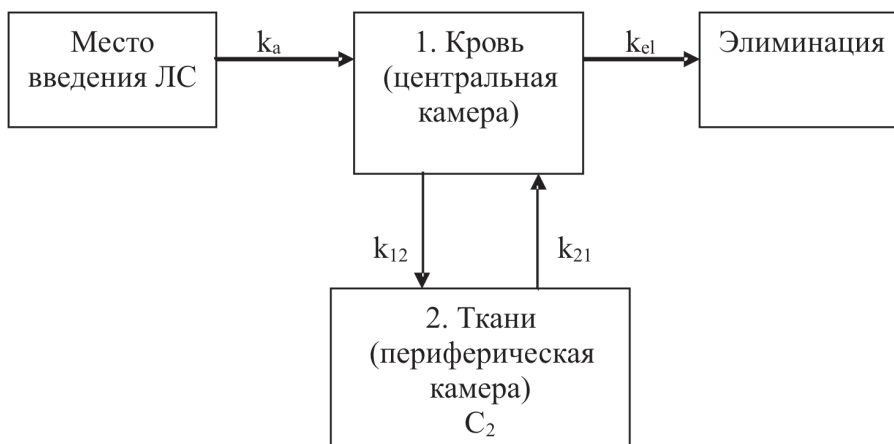
Одним из основных проблем фармакокинетики является определение терапевтического эффекта для лекарственных средств. При знании применения численных методов не составляет большого труда определения шага дозирования. В данной работе приводятся основные приемы создания заданной концентрации лекарственных средств. Приводятся основные теоретические доказательства по созданию заданных концентраций. Приведенные доказательства подтверждаются численными расчетами и графиками.

**Ключевые слова:** лекарственные средства, фармакокинетика, нагрузочная доза, поддерживающая доза, концентрации препарата, камерные модели, интервал дозирования.

Схема двухкамерной фармакокинетической модели (ФКМ), описывающей внесосудистое введение лекарственных средств (ЛС), состоит из трех частей: камеры, отвечающей всасыванию препарата в кровь, ее также называют *подкамерой* или *местом введения ЛС* центральной камеры; периферической камеры.

Графическое изображение этой модели, представленное ниже, связывает направление перемещения ЛС и константы скорости изменения концентраций.

Препарат, согласно этой модели, из места его введения с константой скорости  $k_a$  поступает в центральную камеру, обратимо обменивается с периферической камерой, константы скорости этого обмена соответственно равны  $k_{12}$  и  $k_{21}$ , и затем он выводится только из центральной камеры с константой скорости элиминации, равной  $k_{e1}$ .



Кинетические системы уравнений для этой модели, как и ранее для других, могут быть представлены в двух видах:

\* E-mail корреспондирующего автора: [baidaulet.urmashev@kaznu.kz](mailto:baidaulet.urmashev@kaznu.kz)

$$\frac{dm_A(t)}{dt} = -k_A m(t), \quad m_A(t=0) = m_0, \quad (1)$$

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = k_A m_A(t) - k_{12} m_1(t) + k_{21} m_2(t) - k_{el} m_1(t), \quad m_1(t=0) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{dm_2(t)}{dt} = k_{12} m_1(t) - k_{21} m_2(t), \quad m_2(t=0) = 0, \quad (3)$$

где  $m_A, m_1, m_2$  – количество ЛС в месте введения и камерах 1 и 2, соответственно. Уравнения (1-3) приведем в следующем виде:

$$\frac{dC_A(t)}{dt} = -k_A C_A(t), \quad C_A(t=0) = C_0, \quad (4)$$

$$\frac{dC_1(t)}{dt} = k_A C(t) - k_{12} C_1(t) + k_{12} C_2(t) - k_{el} C_1(t), \quad C_1(t=0) = 0, \quad (5)$$

$$\frac{dC_2(t)}{dt} = k_{12} C_1(t) - k_{21} C_2(t), \quad C_2(t=0) = 0, \quad (6)$$

где  $C_A, C_1, C_2$  – концентрация ЛС в месте введения и в камерах 1 и 2.

Следует обратить внимание на одну особенность ФК исследований, вносящую дополнительную трудность в и без того очень непростую задачу – это тот факт, что в организм вводится известное количество ЛС –  $m_0$  (его доза), а в исследуемой ткани экспериментально определяется его текущая концентрация –  $C(t)$ . При этом переход от количества к концентрации требует знания объема, в котором препарат распределен. В силу того, что экспериментально определяются значения концентраций ЛС, то интегральные уравнения, используемые для описания характера распределения ЛС в организме, естественно, представлены в виде зависимостей  $C = f(t)$ , включающих в себя соответствующее число экспонент. В общем виде зависимость  $C_1 = f(t)$ ,  $C_2 = f(t)$  для этого типа модели достаточно проста:

$$C_1(t) = A_1 e^{-\alpha t} + A_2 e^{-\beta t} - (A_1 + A_2) e^{-k_a t}, \quad C_2(t) = B_1 e^{-\alpha t} + B_2 e^{-\beta t} - (B_1 + B_2) e^{-k_a t},$$

где  $\alpha + \beta = k_{12} + k_{21} + k_{el}$ ,  $\alpha \cdot \beta = k_{21} \cdot k_{el}$ ,

$$A_1 = \frac{C_0 k_a (\alpha - k_{21})}{(\alpha - \beta)(k_a - \alpha)} \quad A_2 = \frac{C_0 k_a (k_{21} - \beta)}{(\alpha - \beta)(k_a - \beta)} \quad -A = -\frac{(k_{21} - k_a) k_a m_0}{V(k_a - \alpha)(k_a - \beta)}$$

$$B_1 = -\frac{C_0 k_a k_{12}}{(k_a - \alpha)(\alpha - \beta)} \quad B_2 = \frac{C_0 k_a k_{12}}{(k_a - \beta)(\alpha - \beta)} \quad B_1 + B_2 = \frac{-k_a k_{12} C_0}{(k_a - \alpha)(k_a - \beta)}$$

Сопоставление уравнений, имеющих в работах [1-8], выявило, что не все они согласуются между собой и, кроме того, ряд из них, видимо, содержит опечатки. Кроме того, в работах большей частью представлена только зависимость  $C_1 = f(t)$ , и от-



существует уравнение концентрационно-временного профиля ЛС для периферической камеры. Учитывая это, проведено независимое полное математическое описание данной ФКМ. Это дало возможность не только избежать последствий в неточности уравнений, которые сказались бы на работе при создании ПО и анализе результатов численного эксперимента, но и получить промежуточные соотношения, дающие дополнительную возможность проверки как математического аппарата модели, так и всех расчетных данных для нее.

Одним из основных приемов создания и поддержания заданной концентрации ЛС является интермиттирующие (повторяющиеся) введения [1]. В литературе отмечается, что основными параметрами в этом случае являются: нагрузочная доза ( $D^*$ ); поддерживающая доза ( $D'$ ); интервал дозирования ( $\tau$ ); минимальный ( $C_{min}$ ) и максимальный ( $C_{max}$ ) уровни концентрации препарата.

Если предположить, что фармакокинетику данного препарата можно описать однокамерной моделью, то после введения нагрузочной дозы концентрация ЛС в момент  $t$  будет равна:  $C(t) = C_0 e^{-k_{el}t}$ , здесь  $C_0 = \frac{D^*}{V}$ .

В момент повторного введения через интервал  $\tau$  она будет складываться из величины  $C(\tau)$  и  $D'/V$  ( $V$  – объем) и далее концентрация будет меняться следующим образом:

$$C(\tau + t) = \left[ C(\tau) + \frac{D'}{V} \right] e^{-k_{el}t}.$$

Теперь  $t$  – время после повторного введения ЛС.

После  $n$  введений дозы  $D'$  через одинаковые интервалы, равные  $\tau$ , получим:

$$C(n\tau + t) = \left\{ \left[ D' + D' e^{-k_{el}\tau} + D' e^{-k_{el}2\tau} + \dots + D' e^{-k_{el}(n-1)\tau} \right] + D^* e^{-k_{el}n\tau} \right\} \frac{e^{-k_{el}t}}{V} \quad (7)$$

После преобразований уравнение (7) можно записать в более компактной форме:

$$C(t) = \left[ D' \frac{(1 - e^{-k_{el}n\tau})}{(1 - e^{-k_{el}\tau})} + D^* e^{-k_{el}n\tau} \right] \cdot \frac{e^{-k_{el}t}}{V}. \quad (8)$$

При достаточно больших  $n$  уравнение (8) можно преобразовать в более простую форму:

$$C(t) = \frac{D' e^{-k_{el}t}}{V(1 - e^{-k_{el}\tau})}.$$

Для расчета максимальных и минимальных величин концентрации ЛС необходимо принять значения времени  $t$  равными соответственно:  $t = 0$  и  $t = \tau$ :

$$C_{max} = \frac{D'}{V(1 - e^{-k_{el}\tau})}, \quad C_{min} = \frac{D' e^{-k_{el}\tau}}{V(1 - e^{-k_{el}\tau})}, \quad C_{el}(t_{1/2}) = C_0 / 2.$$

Создано ПО, позволяющее изучать влияние многократного введения ЛС в организм путем последовательных введений препарата равной величины через одинаковые интервалы времени. Ниже, в качестве примера, представлены уравнения для более сложного варианта, двухкамерной модели при различных способах введения ЛС.

1. Внутрисосудистое введение.

$$C_1(t) = A_1 \frac{1 - e^{-n\alpha\tau}}{1 - e^{-\alpha\tau}} e^{-\alpha t} + A_2 \frac{1 - e^{-n\beta\tau}}{1 - e^{-\beta\tau}} e^{-\beta t} .$$

2. Внесосудистое введение.

$$C_1(t) = A_1 \frac{1 - e^{-n\alpha\tau}}{1 - e^{-\alpha\tau}} e^{-\alpha t} + A_2 \frac{1 - e^{-n\beta\tau}}{1 - e^{-\beta\tau}} e^{-\beta t} - A_3 \frac{1 - e^{-nk_a\tau}}{1 - e^{-k_a\tau}} e^{-k_a t}$$

На рисунках 1-2 представлены ФК профили для различных  $\tau$  для внутрисосудистого и внесосудистого двухкамерных линейных моделей.

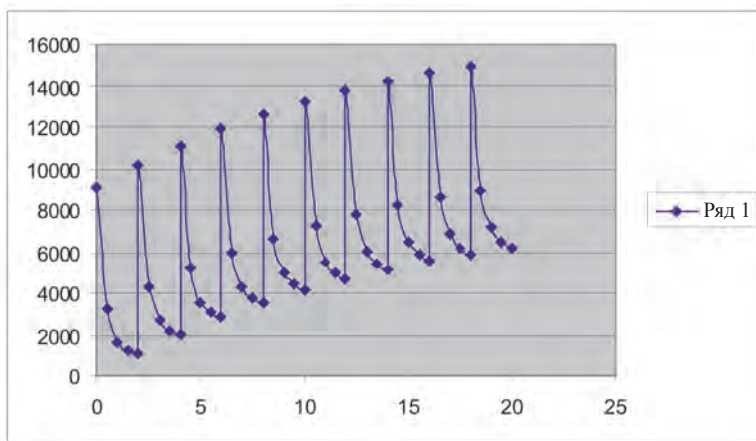


Рисунок 1 –  $A_1 = 7816.06$ ;  $A_2 = 1237.23$ ;  $\alpha = 2.67531$ ;  $\beta = 0.07078$

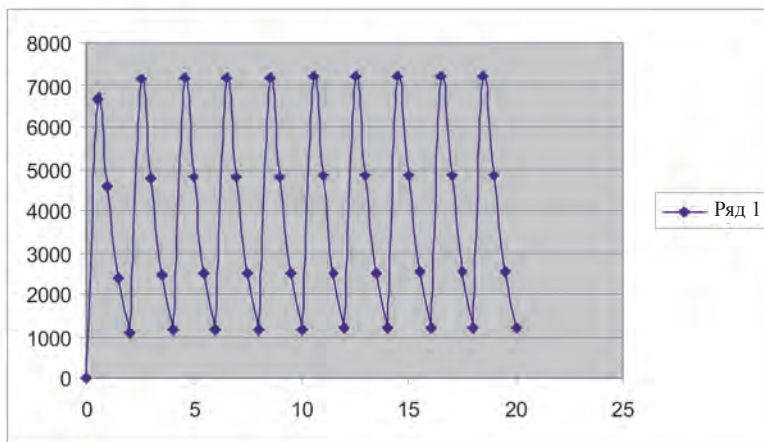


Рисунок 2 –  $A_1 = 57779.6$ ;  $A_2 = 16.5096$ ;  $\alpha = 1.83607$ ;  $\beta = 0.06236$ ;  $k_A = 2.51373$

**Заключение.** 1. Проведен анализ математического аппарата по приемам создания заданной концентрации. Внесосудистое введение для этой же модели предполагает использование значительных упрощений, снижающих точность расчетов. Для других моделей необходимые параметры могут быть получены только численными методами.

2. Создано ПО, позволяющее рассчитывать зависимости  $C - t$  для линейных камерных моделей с заданными фармакокинетическими параметрами и способом введения лекарственных средств.

3. Анализ кривых  $C - t$ , рассчитанных для случая  $\tau = t_{1/2}$  и  $D = D^*$ , позволил выявить, что:

1) Для однокамерной модели при внутрисосудистом введении вид кривых определяется константой скорости элиминации.

2) При внесосудистом введении ЛС стадией адсорбции можно пренебречь только при 500-кратном превышении  $k_a$  над  $k_{el}$ . В остальных случаях она снижает граничные уровни концентрацией ЛС.

3) Для двухкамерных моделей вид кривых  $C - t$  зависит не только от величины константы скорости элиминации, как это принято считать, но и от соотношения констант скорости взаимного обмена ткань-кровь  $k_{12}/k_{21}$ . Рост  $k_{12}$  значительно снижает уровень препарата в крови. Внесосудистое введение ЛС оказывает такое же действие.

4) Уменьшение абсолютных величин констант скорости при сохранении соотношения между ними не меняет предельных значений  $C_{max} - C_{min}$ , увеличивается только время их достижения.

5) Создано ПО, позволяющее решать как задачи исследовательского плана – изучение влияния ФКП, нагрузочной и поддерживающей доз, интервала дозирования на вид кривых  $C - t$ , так и задачи обратного плана – подбор величин  $D'$ ,  $D^*$  и  $\tau$  для создания заданного диапазона  $C_{max} - C_{min}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Соловьев В.Н., Фирсов А.А., Филов В.А. Фармакокинетика. М.: Медицина, 1980, 423 с.
- 2 Мирошниченко И.И. Основы фармакокинетики. – М.: ГЭОТАР-МЕД, 2002, 192 с.
- 3 Линберг Д.Ф., Цирлина Л.А. и др. Фармакокинетика доксицилина. Хим-фарм. журнал, 1989, 23, №1, С. 23-26.
- 4 Прокопов А.А., Котлова Л.И., Берлянд А.С. Экспериментальная фармакокинетика тетраметазина, Хим-фарм. журнал, 2005, 39, №7, С. 8-13
- 5 Rescigno A. Fundamental concepts in pharmacokinetics. Pharmacological Research. 1997, 35, № 5, С. 363-390.
- 6 Белоусов Ю.Б., Гуревич К.Г. Клиническая фармакокинетика. Практика дозирования лекарств. “Литерра”, М.:2005, 288 с.
- 7 Сергиенко В.И., Джеллифф Р., Бондарева И.Б. Прикладная фармакокинетика: основные положения и клиническое применение. – М.: Издательство РАМН, 2003, 208 с.
- 8 Прокопов А.А., Костебелов Н.В., Берлянд А.С. Экспериментальная фармакокинетика альбикара, Хим-фарм. журнал, 2002, 36, №3, С. 13-16.

## REFERENCES

- 1 Solov'ev V.N., Firsov A.A., Filov V.A. Farmakokinetika. M.: Medicina, 1980, 423 s.
- 2 Miroshnichenko I.I. Osnovy farmakokinetiki.- M.:GEOTAR-MED, 2002, 192 s.

3 Linberg D.F., Cirlina L.A. i dr. Farmakokinetika doksicilina. Him-farm. zhurnal, 1989, 23, №1, S. 23-26.

4 Prokopov A.A., Kotlova L.I., Berlyand A.S. Eksperimental'naya farmakokinetika tetromezina, Him-farm. zhurnal, 2005, 39, №7, S. 8-13.

5 Rescigno A. Fundamental concepts in pharmacokinetics. Pharmacological Research. 1997, 35, № 5, С. 363-390.[ Rescigno A. Fundamental concepts in pharmacokinetics. Pharmacological Research. 1997, 35, № 5, S. 363-390.

6 Belousov YU.B., Gurevich K.G. Klinicheskaya farmakokinetika. Praktika dozirovaniya lekarstv. "Littera", M.:2005, 288 s.

7 Sergienko V.I., Dzhelliff R., Bondareva I.B. Prikladnaya farmakokinetika: osnovnye polozheniya i klinicheskoe primenenie. -M.: Izdatel'stvo RAMN, 2003, 208 s.

8 Prokopov A.A, Kostebelov N.V., Berlyand A.S. Eksperimental'naya farmakokinetika al'bikara, Him-farm. zhurnal, 2002, 36, №3, S. 13-16.

**Б. А. УРМАШЕВ, А. Т. ТҰРСЫНБАЙ, А. Б. АМАНТАЕВА, М. М. МУХАТОВ**

*ал-Фараби атындағы ҚазҰУ,  
baidaulet.umashev@kaznu.kz*

### **ФАРМАКОКИНЕТИКАНЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ КАМЕРАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІНЕ АРНАЛҒАН ДӘРІЛІК ЗАТТАРДЫҢ ҚАЖЕТТІ КОНЦЕНТРАЦИЯСЫН ҚҰРУ ӘДІСТЕРІ**

*Фармакокинетиканың негізгі мәселелерінің бірі – дәрілік заттардың емдік әсерін анықтау. Сандық әдістерді қолдану туралы біле отырып, мөлшерлеу кезеңін анықтау қиын емес. Бұл жұмыста дәрілік заттардың берілген концентрациясын құрудың негізгі әдістері келтірілген. Көрсетілген концентрацияларды құрудың негізгі теориялық дәлелдері келтірілген. Берілген дәлелдер сандық есептеулер мен графиктермен расталады.*

***Түйін сөздер:** дәрі-дәрмектер, фармакокинетика, жүктеме мөлшері, ұстау мөлшері, дәрілік заттардың концентрациясы, камералық модельдер, мөлшерлеу аралығы.*

**B. A. URMASHEV, A. T. TURSUNBAI, A. B. AMANTAIEVA, M. M. MUKHATOV**

*al-Farabi KazNU  
baidaulet.umashev@kaznu.kz*

### **METHODS FOR CREATING A PRESCRIBED DRUG CONCENTRATION FOR LINEAR CHAMBER MODELS OF PHARMACOKINETICS**

*One of the main problems of pharmacokinetics is the determination of the therapeutic effect for drugs. With knowledge of the application of numerical methods, it is not difficult to determine the dosing step. In this work, the main techniques for creating a given concentration of drugs are presented. The main theoretical evidence for the creation of specified concentrations is presented. The given evidence is supported by numerical calculations and graphs.*

***Key words:** Medicines, pharmacokinetics, loading dose, maintenance dose, drug concentrations, chamber models, dosing interval.*

**Г. Т. ШАКУЛИКОВА, С. М. АХМЕТОВ\*, Н. М. АХМЕТОВ,  
Ж. У. ИКЛАСОВА**

*Атырауский университет нефти и газа имени Сафи Утебаева*

## **ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСМИССИИ БУРОВЫХ УСТАНОВОК С ПЛАНЕТАРНЫМИ ПЕРЕДАЧАМИ**

*Рассмотрены особенности подхода к математическому моделированию параметров силовых трансмиссии буровых установок (БУ), включающих в кинематическую структуру зубчатые планетарные механизмы передач. При этом особенности моделирования заключаются в особых свойствах кинематики и динамики планетарных передач, наличием в них элементов сложного относительного движения. Это обстоятельство требует тщательного анализа параметров на стадии проектирования, которые должны быть основаны на применении доступных и перспективных методов математического моделирования с возможностью использования современного математического аппарата и численных методов вычислений.*

*В целях решения данной задачи авторами предложена методика математического моделирования механических процессов в трансмиссиях БУ с планетарными передачами. Это позволяет на основании результатов теоретических исследований спрогнозировать оптимальные параметры силовой трансмиссии БУ.*

**Ключевые слова:** *математическая модель, параметры, трансмиссия, буровая установка, механизм зубчатой планетарной передачи, прогнозирование, кинематическая структура.*

Работа является продолжением ранее опубликованных результатов исследований, где были предложены математические модели кинематических схем трансмиссии буровых установок (БУ) с одним и групповым приводами, а также алгоритмы и подпрограммы для автоматизации их оптимального проектирования [1, 2, 3]. Здесь мы рассматриваем случай, когда в составные элементы конструкции трансмиссии буровых установок входят механизмы планетарных передач. Как известно, планетарные передачи отличаются особыми кинематическими свойствами, которые, в конечном счете, обеспечивают гораздо большую управляемость чем в обычных механизмах зубчатых передач [4, 5]. Однако, несмотря на указанные достоинства, случаи с планетарными передачами требуют тщательного анализа динамических свойств на стадии проектирования, которые должны быть основаны на применении эффективных методов математического моделирования и использовании современного математического аппарата с возможностью реализации численных вычислений параметров. Это позволит нам значительно сэкономить средства на дорогостоящие эксперименты и опыты, которые, как правило, осуществляются после создания того или иного объекта. Таким образом, применением математического моделирования механических процессов появляется возможность теоретического исследования сложных процессов до создания технических средств, т.е. на стадии их проектирования, и тем самым, спрогнозировать оптимальные диапазоны значений рабочих параметров машин и агрегатов, в данном случае трансмиссии БУ.

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [axmetov\\_aing@mail.ru](mailto:axmetov_aing@mail.ru)

Разработку математических моделей будем осуществлять на основе применения метода графов, с демонстрацией доводов и предложений рассмотрением конкретных примеров. Графы дают большие преимущества, особенно применительно к разветленным (сложным) планетарным и планетарно-дифференциальным механизмам. Это обусловлено тем, что «ручные» методы кинематического анализа этих механизмов, такие как метод Виллиса или метод планов скоростей алгоритмируются с большим трудом [6, 7]. В то же время сравнительно простыми и эффективными являются методы, основанные на анализе графов, которые представляют собой математическую модель реального механизма или машины [8, 9, 10].

Поставим в соответствие каждой вершине графа величину  $x$ , называемую характеристикой, пока не конкретизируя ее физический смысл. Так вершины  $m$  и  $n$  графа, показанного на рисунке 1,  $a$  имеют характеристики  $x_m$  и  $x_n$  соответственно. Дуги будем характеризовать величиной передачи  $a_{mn}$ , равной отношению характеристик конечной и начальной вершин, соединяемых данной дугой  $mn$ . Тогда для графа на рисунке 1,  $a$

$$x_n = x_m a_{mn}. \quad (1)$$

Для применения графов к анализу планетарных механизмов необходимо знать правила их эквивалентных преобразований, вытекающих из выражения (1). Так, передача последовательных дуг (рис. 1, б) равна произведению передач этих дуг. Это следует из того, что

$$x_2 = x_1 a; \quad x_3 = x_2 b,$$

откуда

$$x_3 = x_1 ab.$$

Передача параллельных дуг одинакового направления равна сумме передач этих дуг (рис. 1, в)

$$x_2 = x_1 a + x_1 b = x_1 (a + b).$$

Аналогично доказывается справедливость преобразования схем, приведенных на рисунках 1, г и 2, д.

При этом, будем считать, что вершины графа, представляющего математическую модель зубчатого механизма, соответствуют валам, а дуги – зубчатым парам. Тогда характерной вершиной будет ее угловая скорость, а передачей дуги – передаточное отношение.

Для применения метода графов исследуемый механизм следует расчленить на простейшие трехзвенные с известными соотношениями между кинематическими параметрами звеньев.

Так, для одноступенчатой планетарной передачи с солнечным колесом  $a$ , коронкой  $b$  и водилой  $H$  (рис. 2, а) угловая скорость водила

$$\omega_H = \frac{\omega_a}{1 + Z_b / Z_a} + \frac{\omega_b}{1 + Z_b / Z_a}.$$

Обозначив через  $Z_a / Z_b = \alpha$ , получим



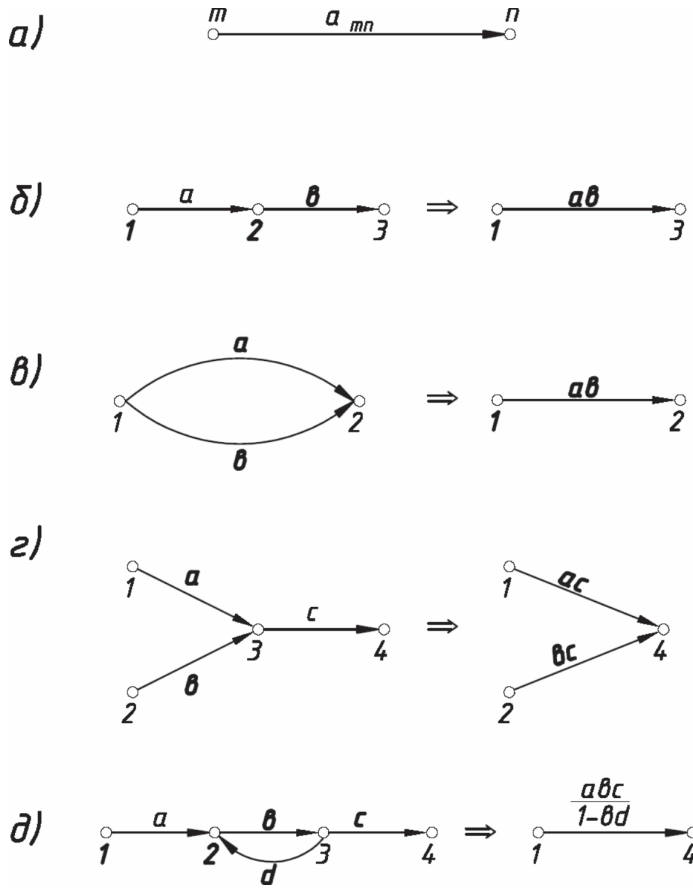


Рисунок 1 – Граф к анализу трансмиссии, включающих планетарные передачи

$$\omega_H = \omega_a \frac{\alpha}{1 + \alpha} + \omega_b \frac{1}{1 + \alpha} .$$

Это соотношение можно переписать в виде

$$\omega_H = \omega_a i_{Ha}^b + \omega_b i_{Hb}^a , \tag{2}$$

где  $i_{Ha}^b$  – передаточное отношение между водилой  $H$  и колесом  $a$  при заторможенном колесе  $b$ ;  $i_{Hb}^a$  - соответственно, передаточное отношение между водилой  $H$  и колесом  $b$  при заторможенном колесе  $a$ .

Очевидно, что уравнение (2) остается справедливой и для двухступенчатых планетарных передач, показанных на рисунках 2, б, в и г, если обозначить

$$i_{Ha}^b = \frac{K}{1 \pm K}; \quad i_{Hb}^a = \frac{1}{1 \pm K}; \quad K = \frac{Z_a Z_g}{Z_b Z_f} . \tag{3}$$

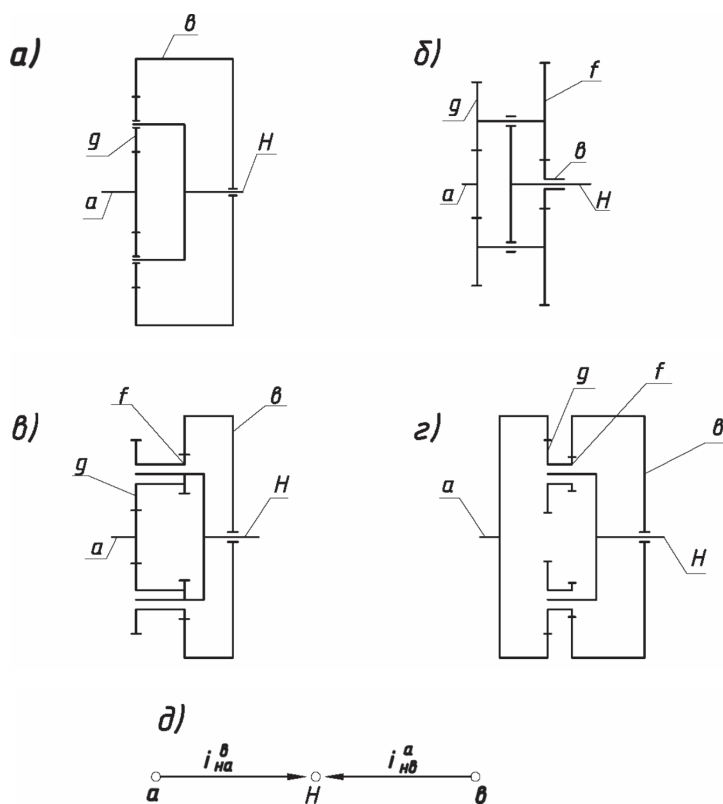


Рисунок 2 – Варианты кинематических схем одноступенчатой планетарной

Знак «плюс» относится к схемам (а) и (в), а «минус» – к (б) и (г) на рисунке 2 (имеется в виду, что для схемы (а)  $Z_g/Z_f = I$ ).

Как видно, в передачах с солнечным колесом *a*, коронкой *б* и водилой *H* (а-г), ее граф (д).

Граф, показанный на рисунке 2, д соответствует всем четырем передачам. Выражения, аналогичные (2) и (3), легко получаются и для других типов простейших планетарных передач.

Получение и упрощение графа рассмотрим на примере планетарной передачи, показанной на рисунке 3, а. Цифрами от 1 до 5 здесь обозначены номера основных (соосных) звеньев. Для того, чтобы получить граф этой передачи, разобьем ее на трехзвенные составляющие механизмы. Таких простейших трехзвенных механизмов здесь три: 1-4-5; 1-3-4; 2-4-3 (звенья перечисляются в данном случае в следующем порядке: солнечная шестерня, коронка, водило). Каждому из этих механизмов соответствует граф, аналогичный показанному на рисунке 2, д. Объединяя все три графа, получим искомый граф (рисунок 3, б). Передачи дуг этого графа представляют передаточные отношения соответствующего трехзвенного механизма, которые фигурируют в уравнении (2) и показаны на рисунке 2, д.

Так, например,  $a_{15} = i_{51}^4$ ;  $a_{45} = i_{54}^1$ ;  $a_{34} = i_{43}^1$  и т. д.

Если приостановить колесо 2, то получим планетарный механизм, граф которого с последовательными упрощениями показан на рисунке 3, в.

Устранение петли у вершины 4 производится согласно преобразованию, показанному на рисунке 1, д при  $b = 1$ . Из рисунка 3, в и приведенных на нем зависимостей следует, что

$$\omega_5 = \omega_1 \left( a_{15} + \frac{a_{14}a_{45}}{1 - a_{34}a_{43}} \right). \quad (4)$$

При заторможенном колесе 1 граф и его преобразования показаны на рисунке 3, з, из которого получаем, что

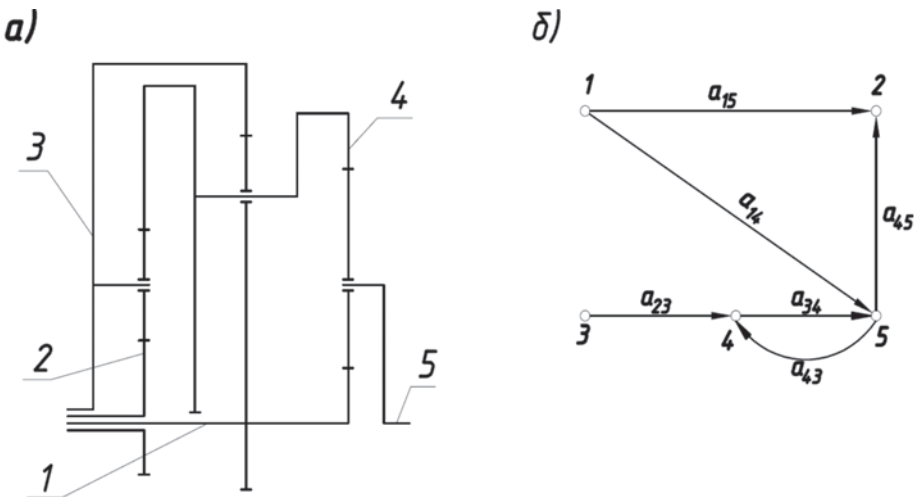
$$\omega_5 = \omega_2 \frac{a_{23}a_{34}a_{45}}{1 - a_{34}a_{43}}. \quad (5)$$

При одновременном задании угловых скоростей  $\omega_1$  и  $\omega_2$  (т. е. для дифференциального механизма) угловую скорость звена 5 можно получить объединением правых частей равенств (4) и (5).

Следует отметить, что аналитические зависимости для определения угловых скоростей планетарно-дифференциальных механизмов можно получить, используя формулу Мэзона.

Для проведения машинного расчета граф задается в виде квадратной матрицы  $[C]$  смежности весов

$$[C] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix}.$$



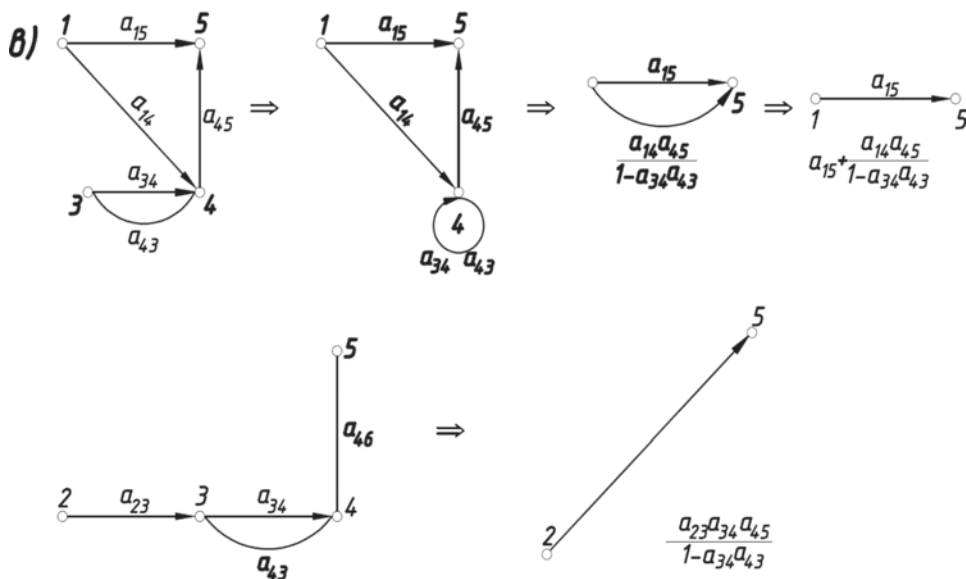


Рисунок 3 – К примеру, демонстрации получения и упрощения графа сложной планетарной передачи

Порядок  $n$  матрицы равен числу вершин графа, а коэффициент  $c_{ij}$  представляет передачу дуги  $ij$ . Матрица смежности весов для графа на рисунке 3, б имеет вид:

$$[C] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & c_{14} & c_{15} \\ 0 & 0 & c_{23} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_{34} & 0 \\ 0 & 0 & c_{43} & 0 & c_{45} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} .$$

Коэффициенты  $c_{ij}$  этой матрицы вычисляются электронной вычислительной техникой исходя из задаваемых матриц инцидентий и чисел зубьев. При этом все преобразования графа, необходимые для получения окончательных зависимостей, производятся в матричном виде.

**Выводы.** Предложена методика, позволяющая смоделировать параметры трансмиссии БУ, в случае включения в ее кинематическую структуру планетарных передаточных механизмов. Это, в свою очередь, дает возможность заменить более трудоемкие и малоэффективные графоаналитические способы анализа и методы планов скоростей более прогрессивными методами, основанными на применении графов.

### ЛИТЕРАТУРА

1 Ахметов С.М., Ахметов Н.М., Усербаев М.Т. Методика оптимизации параметров силовых зубчатых передач с переменными передаточными отношениями // Вестник НИА РК. – 2020. – №1(75). – С.: 22-29.

- 2 Айтимов А.С., Ахметов С.М., Ахметов Н.М.. Методика расчета параметров трансмиссии с групповым приводом // Вестник НИА РК. – 2020. – №1(75). – С.: 10-17
- 3 Ахметов С.М., Усербаев М.Т., Ахметов Н.М., Икласова Ж.У., Зайдемова Ж.К. Автоматизация оптимального проектирования трансмиссии буровых установок // Вестник НИА РК. – 2021. – №3(81). 2021. – С.: 53-60.
- 4 Самойлов Е.Г., Рошин А.В. Исследование кинематических свойств планетарных передач дифференциалов используемых в машинных агрегатах землеройных комплексов // «Современные методы анализа работы машинных агрегатов в горной промышленности». Сб. тр. междунар. науч. - практ. конф. Таганрог: 2020. – С.: 456-463.
- 5 Планетарные передачи. Справочное пособие / Под. ред. О.И. Афанасьева. – М.: ММУ (МАДИ), 2019. – 398 с.
- 6 Попов А. И. Механика. Решение творческих профессиональных задач. Учебное пособие / А. И. Попов. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. Ч. 2. – 80 с.
- 7 Рязанцева И. Л. Прикладная механика. Схемный анализ и синтез механизмов и машин. Учебное пособие / И. Л. Рязанцева. – Омск: Изд-во Омского гос. техн. ун-та, 2017. – 184 с.
- 8 Берцун В. Н. Математическое моделирование на графах. Ч. 1. Учебное пособие. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 88 с.
- 9 Ильин В. П. Математическое моделирование. Ч. 1. Непрерывные и дискретные модели. – Новосибирск: Изд-во Ин-та вычисл. матем. и матем. геофизики СО РАН, 2017. – 430 с.
- 10 Кузьмина М. В. Математические модели и алгоритмы на графах с нестандартной достижимостью. Динамические графы. Автореф. дисс. канд. физ. – мат. наук (05.13.18). – Ростов на Дону, 2009. – 25 с.

## REFERENCES

- 1 Ahmetov S.M., Ahmetov N.M., Userbaev M.T. Metodika optimizatsii parametrov silovyyh zubchatyyh peredach s peremennymi peredatochnymi otnosheniyami // Vestnik NIA RK. – 2020. – №1(75). – С.: 22-29.
- 2 Ajtimov A.S., Ahmetov S.M., Ahmetov N.M.. Metodika rascheta parametrov transmissii s gruppovym privodom // Vestnik NIA RK. – 2020. – №1(75). – С.: 10-17
- 3 Ahmetov S.M., Userbaev M.T., Ahmetov N.M., Iklasova ZH.U., Zaj-demova ZH.K. Avtomatizatsiya optimal'nogo proektirovaniya transmissii burovyyh ustanovok // Vestnik NIA RK. – 2021. – №3(81). 2021. – С.: 53-60.
- 4 Samojlov E.G., Roshchin A.V. Issledovanie kinematicheskikh svoystv planetarnyyh peredach differentsialov ispol'zuemykh v mashinnykh agregatakh zemlerojnykh kompleksov // «Sovremennyye metody analiza raboty mashinnykh agregatov v gornoy promyshlennosti». Sb. tr. mezhdunar. nauch. - prakt. konf. Taganrog: 2020. – С.: 456-463.
- 5 Planetarnyye peredachi. Spravochnoe posobie / Pod. red. O.I. Afanas'eva. – М.: ММУ (МАДИ), 2019. – 398 с.
- 6 Popov A. I. Mekhanika. Reshenie tvorcheskikh professional'nykh zadach. Uchebnoe posobie / A. I. Popov. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tekhn. un-ta, 2007. CH. 2. – 80 с.
- 7 Ryazanceva I. L. Prikladnaya mekhanika. Skhemnyy analiz i sintez mekhanizmov i mashin. Uchebnoe posobie / I. L. Ryazanceva. – Омск: Изд-во Омского гос. техн. ун-та, 2017. – 184 с.
- 8 Bercun V. N. Matematicheskoe modelirovanie na grafah. CH. 1. Uchebnoe posobie. – Tomsk: Изд-во NTL, 2006. – 88 с.
- 9 Il'in V. P. Matematicheskoe modelirovanie. CH. 1. Nepreryvnye i diskretnyye modeli. – Novosibirsk: Изд-во Ин-та вычисл. матем. и матем. геофизики СО РАН, 2017. – 430 с.

10 Kuz'minova M. V. Matematicheskie modeli i algoritmy na grafax s nestandardnoj dostizhimost'yu. Dinamicheskie grafy. Avtoref. diss. kand. fiz. – mat. nauk (05.13.18). – Rostov na Donu, 2009. – 25 s.

**Г. Т. ШАКУЛИКОВА, С. М. АХМЕТОВ\*, Н. М. АХМЕТОВ, Ж. У. ИҚЛАСОВА**

*Сафи Өтебаев атындағы Атырау Мұнай және газ университеті*

### **БҰРҒЫЛАУ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНЫҢ ПЛАНЕТАРЛЫҚ БЕРІЛІСТІ ТРАНСМИССИЯ ПАРАМЕТРЛЕРІН МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУДІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

*Кинематикалық құрылымында тісті планетарлық беріліс механизмдері бар бұрғылау қондырғыларының (БҚ) күйтік трансмиссия параметрлерін математикалық модельдеуге бағытталған көзқарастың ерекшеліктері қарастырылады. Бұл жерде модельдеудің ерекшеліктері планетарлық берілістердің кинематикасы мен динамикасының ерекше қасиеттерімен, сондай-ақ оларда күрделі салыстырмалы қозғалыс элементтерінің болуымен анықталады. Бұл жағдай, параметрлерді жобалау кезеңі сатысының өзінде-ақ мұқият талдауды қажет етеді, және олар қазіргі замануи математикалық аппаратты және сандық есептеу әдістерін қолдануға мүмкіндік беретін математикалық модельдеудің қол жетімді және перспективалы әдістерін қолдануға негізделуі қажет.*

*Бұл мәселені шешу үшін авторлар планетарлық берілістері бар БҚ трансмиссияларындағы механикалық процестерді математикалық модельдеудің әдістемесін ұсынған. Бұның өзі жүргізілген теориялық зерттеулер нәтижелерінің негізінде БҚ күйтік трансмиссиясының оңтайлы параметрлерін алдын ала болжауға мүмкіндік береді.*

***Түйін сөздер:** математикалық модель, параметрлер, трансмиссия, бұрғылау қондырғысы, тиісті планетарлық беріліс механизмі, болжау, кинематикалық құрылым.*

**G. T. SHAKULIKOVA, S. M. AKHMETOV\*, N. M. AKHMETOV, ZH. U. IKLASOVA**

*ATYRAU University of Oil and Gas named after Safi Utebayev*

### **FEATURES OF MATHEMATICAL MODELING TRANSMISSION PARAMETERS OF DRILLING RIGS WITH PLANETARY GEARS**

*The features of the approach to the mathematical modeling of power transmission parameters of drilling rigs (DR), which include gear planetary gear mechanisms in the kinematic structure, are considered. At the same time, the modeling features consist in the special properties of the kinematics and dynamics of planetary gears, as well as the presence of elements of complex relative motion in them. This circumstance requires a thorough analysis of the parameters at the design stage, which should be based on the use of available and promising methods of mathematical modeling with the possibility of using modern mathematical apparatus and numerical methods of calculations.*

*In order to solve this problem, the authors proposed a method for mathematical modeling of mechanical processes in the transmissions of DR with planetary gears. This makes it possible, based on the results of theoretical studies, to predict the optimal parameters of the power transmission of DR.*

***Keywords:** mathematical model, parameters, transmission, drilling rig, gear planetary gear mechanism, forecasting, kinematic structure.*



УДК 51-7

<https://doi.org/10.47533/2020.1606-146X.149>

**Д. У. СУГИРОВ<sup>1\*</sup>, Г. Г. БАЙСАРОВА<sup>1</sup>, С. М. ОСПАНОВА<sup>1</sup>,  
М. К. СУЙМЕНОВА<sup>1</sup>, К. М. ШАЙХИЕВА<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш. Есенова,  
г. Актау, Республика Казахстан*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА ПУЧКА ТРУБ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТУРБУЛИЗАТОРОВ С ВЫРЕЗАМИ**

*В статье рассматривается математическое моделирование интенсификации конвективно-го теплообмена гладкого пучка труб. В качестве интенсификаторов теплообмена использовались турбулизаторы с вырезами. Математическая модель теплообменника состояла из секции прямоугольного канала с устройством турбулизатора. Для решения дифференциального уравнения использовали метод конечных разностей, аппроксимируя разностными уравнениями. На основе сделанных расчетов, для целей выбора размеров экспериментального объекта были получены профили распределения скорости до и после турбулизатора.*

***Ключевые слова:** математическое моделирование, конвективная теплопередача, аэродинамическое сопротивление, теплообменник, турбулизатор.*

**Введение.** Математическое описание процессов в теплообменных устройствах, которое называют математической моделью, представляют в виде аналитических выражений, которые характеризуют изменения температур в потоке теплоносителя в отрезке времени.

Разработки математических моделей теплообменных аппаратов осложняются спецификами конструкции и назначения, а именно видом теплоносителя, способами интенсификации процессов теплообмена, гидродинамическими режимами потоков, характерами передач тепла, конфигурациями и компоновками поверхностей теплообмена, количествами ходов и тепло агентов, материалом аппарата и т. д.

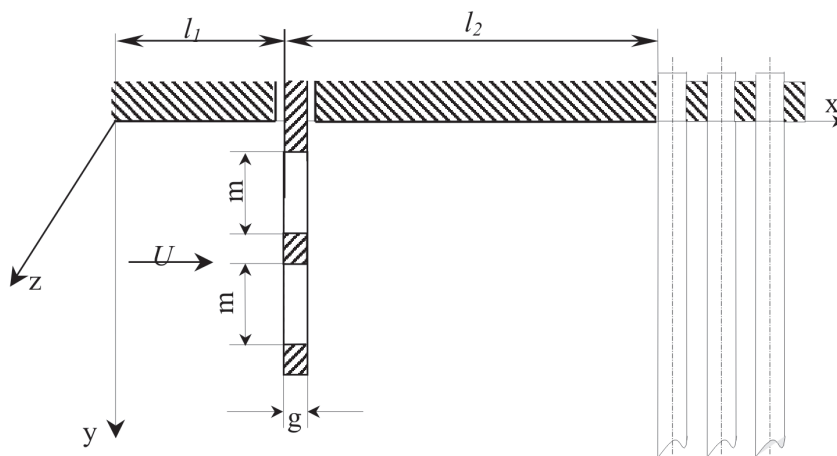
В основах методики расчета теплообменника берется использование соответствующей модели структуры потока с учетом источников тепла, описываемых уравнением теплопередачи [1-4].

---

\* E-mail корреспондирующего автора: sugirov-56@mail.ru

**Основная часть.** Рассмотрим математическую модель турбулентного теплообменника. Течение в этом канале классифицируется как ток в прямых трубах или каналах. Математическая модель этого теплообменника будет состоять из секции прямоугольного канала с устройством турбулентности длиной  $(l_1 + l_2)$  (рис. 1).

Тогда для определения турбулентного потока жидкости в установке применим уравнения Рейнольдса для среднего турбулентного потока, в прямоугольной декартовой системе координат (1):



**Рисунок 1** – Схема установки с устройством турбулизатора в виде лепестковых вырезов

$$\left. \begin{aligned} \rho \left( U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} + W \frac{\partial U}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{xx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{xy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{xz}; \\ \rho \left( U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + W \frac{\partial V}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{yx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{yy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{yz}; \\ \rho \left( U \frac{\partial W}{\partial x} + V \frac{\partial W}{\partial y} + W \frac{\partial W}{\partial z} \right) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \tau_{zx} + \frac{\partial}{\partial y} \tau_{zy} + \frac{\partial}{\partial z} \tau_{zz}; \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

здесь  $U, V, W$  - являются компонентами вектора скорости в направлении осей  $x, y, z$  (рис. 2);  $p$  – статическое давление;  $\rho$  – плотность жидкости.

Дифференциальные уравнения привели к обобщенному виду:

$$\frac{\partial}{\partial x} (U\Phi) + \frac{\partial}{\partial y} (V\Phi) = \frac{\partial}{\partial x} \left( \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \Gamma_\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial y} \right) + S_\Phi, \quad (2)$$

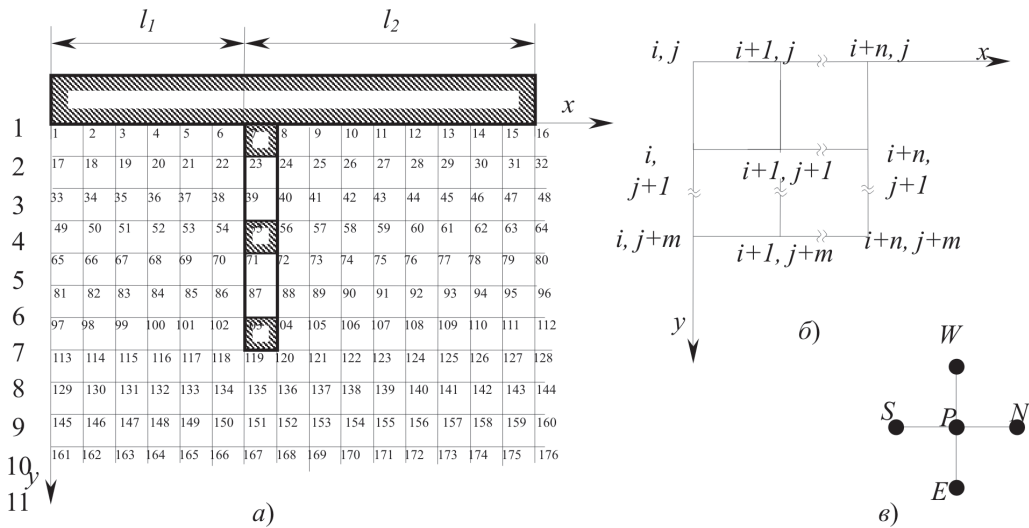
здесь переменная  $\Phi$  поочередно обозначает  $U, V, k$  и  $\varepsilon$ , а коэффициенты  $\Gamma_\Phi$  и  $S_\Phi$  зависят от рода переменной.

Дифференциальное уравнение (2), примет следующий вид:

$$\frac{(U_j^{i+1} - U_j^i)(\Phi_j^{i+1} - \Phi_j^i)}{\Delta x} + \frac{(V_{j+1}^i - V_j^i)(\Phi_{j+1}^i - \Phi_j^i)}{\Delta y} = \Gamma_\Phi \frac{\Phi_j^{i+1} - 2\Phi_j^i + \Phi_j^{i-1}}{\Delta x^2} + \Gamma_\Phi \frac{\Phi_{j+1}^i - 2\Phi_j^i + \Phi_{j-1}^i}{\Delta y^2} + S_\Phi \tag{3}$$

Основываясь на методики Патанкара для решения дифференциальных уравнений (3) математической модели применялся метод конечных разностей, путём аппроксимации разностными уравнениями.

Для случая турбулизирующей перегородки, расположение узлов разностной сетки представлено на рисунке 2.



**Рисунок 2** – Размещение разностной сетки  
 а) место узлов разностной схемы б) нумерация узлов  
 в) обозначение смежных точек

Мы установили необходимые границы условия. Система состоит из теплоносителя, который перемещается в пространстве, ограниченном стенами установки на расстояние  $(l_1 + l_2)$  в секции входа и выхода. Для всех переменных на входе задается условие Дирихле  $\Phi(x,y) = \Phi_o(x_o,y_o)$  для развитого турбулентного потока. Мы принимаем  $U = V = 0$ , на стенах аэродинамической трубы и на поверхности турбулентного устройства, а для  $k$  и  $\epsilon$  применяются зависимости логарифмического закона распределения скоростей  $du = (u/k)(du/dl)$ . В границах математической модели для всех переменных дается условие Неймана, т. е.  $\partial\Phi/\partial x = \partial\Phi/\partial y = 0$ .

При аппроксимации разностных уравнений, дифференциальные уравнения принимают алгебраический вид с общим видом для каждой переменной. Получаем систему алгебраических уравнений (4):

$$\left. \begin{aligned} a_P^U &= a_E U_E + a_W U_W + a_N U_N + a_S U_S + S_U^U \\ a_P^V &= a_E V_E + a_W V_W + a_N V_N + a_S V_S + S_U^V \\ a_P^k &= a_E k_E + a_W k_W + a_N k_N + a_S k_S + S_U^k \\ a_P^\varepsilon &= a_E \varepsilon_E + a_W \varepsilon_W + a_N \varepsilon_N + a_S \varepsilon_S + S_U^\varepsilon \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $a^{U,V,k,\varepsilon}$  и  $S^{U,V,k,\varepsilon}$  – получались в зависимости от значений поля коэффициентов переменных  $U, V, k, \varepsilon$ ;  $P, E, W, N, S$  – нумерация узлов, прилегающих друг к другу (рисунок 2, в)

Уравнения (5) образывала систему уравнений в матричной форме:

$$H = a\Theta + S \quad (5)$$

Где:

$$H = \begin{bmatrix} a_P^U \\ a_P^V \\ a_P^k \\ a_P^\varepsilon \end{bmatrix} a = \begin{bmatrix} a_E^U & a_W^U & a_N^U & a_S^U \\ a_E^V & a_W^V & a_N^V & a_S^V \\ a_E^k & a_W^k & a_N^k & a_S^k \\ a_E^\varepsilon & a_W^\varepsilon & a_N^\varepsilon & a_S^\varepsilon \end{bmatrix} \Theta = \begin{bmatrix} U_n^U \\ V_n^V \\ k_n^k \\ \varepsilon_n^\varepsilon \end{bmatrix} S = \begin{bmatrix} S_U^U \\ S_U^V \\ S_U^k \\ S_U^\varepsilon \end{bmatrix} \quad (6)$$

Разностные системы уравнения (6) образовали матрицы, которые являются матрицей коэффициентов  $P, a$ , т.е. матрицей переменных. Для обращения матрицы использовался метод Гаусса-Зейделя.

**Заключение.** На основе сделанных расчетов, для целей выбора размеров экспериментального объекта были получены профили распределения скорости до и после турбулизатора для вариантов  $\delta = 0,15; 0,3; 0,5$  при изменении размера разрезов От 22 до 26 мм.

Результаты математического моделирования были проверены экспериментально на установке. Трубкой Прандтля измерили значения скорости на расстояниях 20, 40 и 60 мм от интенсификатора (участки  $c, d, e$ ) и сравнивали с результатами теоретического исследования при выдвигании перегородки на расстояние  $\delta = 0,3 l = 63$  мм, размер выемки был  $m = 24$  мм и расстояние установки интенсификатора впереди пучка  $d = 40$  мм.

Полученные экспериментальные данные практически совпали с теоретическими, что доказало правильность разработки математической модели [5-6].

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Шиловостов А.В.-В. кн. Конвективный теплообмен в элементах парогенераторов и теплообменников-тр.ЦКТИ, 1968, вып.89, с.95-101.
- 2 Гренх Х.Г., Шольц Ф. – В кн. Теплообмен-У, т.1, ч.2, Минск, Изд. АН БССР, 1976, с.37-42
- 3 Фомина В.Н. Исследование теплообмена и аэродинамики шахматных пучков труб с широкими и тесными шагами и уточнение их расчета. Кандидатская диссертация, 1976, ВТИ.
- 4 Андреевский А.А., Боришанский В.М., Жилкина В.Б. Исследование теплоотдачи шахматных пучков труб в поперечном потоке воды – В кн. Конвективная теплоотдача в двухфазном и однофазном потоке- М., Энергия, 1964, с.65-68.

5 Божанов Е.Т., Сугиров Д.У., Ержанов К.Ш. Математическая модель турбулизирующей установки в прямоугольном канале//Вестник НПЦ «Перерабатывающая и пищевая промышленность», 2004, №2.

6 Божанов Е.Т., Сугиров Д.У., Ержанов К.Ш. Математическая модель турбулизатора с вырезами в теплообменнике, установленного в прямоугольном канале// Вестник КазГАСА, 2004, №2.

## REFERENCES

1 [SHilohvostov A.V.-V kn. Konvektivnyj teploobmen v elementah parogeneratorov i teploobmennikov-tr.CKTI, 1968, vyp.89, s.95-101.]

2 Grenh H.G., SHol'c F. – V kn. Teplomassoobmen-Y, t.1, ch.2, Minsk, Izd. AN BSSR, 1976, s.37-42.

3 [Fomina V.N. Issledovanie teploobmena i aerodinamiki shahmatnyh puchkov trub s shirokimi i tesnymi shagami i utochnenie ih rascheta. Kandidatskaya dissertaciya, 1976, VTI.]

4 [Andreevskij A.A., Borishanskij V.M., ZHilkina V.B. Issledovanie teplootdachi shahmatnyh puchkov trub v poperechnom potoke vody – V kn. Konvektivnaya teplootdacha v dvuhfaznom i odnofaznom potoke- M., Energiya, 1964, s.65-68.]

5 [Bozhanov E.T., Sugirov D.U., Erzhanov K.SH. Matematicheskaya model' turbuliziruyushchej ustanovki v pryamougol'nom kanale//Vestnik NPC «Pererabatyvayushchaya i pishchevaya promyshlennost'», 2004, №2.]

6 [Bozhanov E.T., Sugirov D.U., Erzhanov K.SH. Matematicheskaya model' turbulizatora s vyrezami v teploobmennike, ustanovlennogo v pryamougol'nom kanale// Vestnik KazGASA, 2004, №2.]

**Д. У. СУГИРОВ \*, Г. Г. БАЙСАРОВА, С. М. ОСПАНОВА,  
М. К. СУЛЕЙМЕНОВА, К. М. ШАЙХИЕВА**

*Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инженеринг университеті,  
Ақтау қ., Қазақстан Республикасы*

## **ОЙЫҚТАРЫ БАР ТУРБУЛИЗАТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУ КЕЗІНДЕ ҚҰБЫРЛАР ШОҒЫНЫҢ КОНВЕКТИВТІ ЖЫЛУ АЛМАСУЫН МОДЕЛЬДЕУ**

*Мақалада тегіс түтік байламының конвективті жылу беруін интенсификациялаудың математикалық модельдеуі қарастырылған. Жылу беруді күшейткіш ретінде кесінділері бар турбуляторлар қолданылды. Жылуалмастырғыштың математикалық моделі турбуляторлы қондырғысы бар тікбұрышты канал бөлімінен тұрды. Дифференциалдық теңдеуді шешу үшін айырымдық теңдеулермен жуықталған ақырлы айырым әдісі қолданылды. Есептеулер негізінде эксперименттік объектінің көлемін таңдау мақсатында турбулизаторға дейінгі және кейінгі жылдамдықтың таралуы профилдері алынды.*

**Түйін сөздер:** *математикалық модельдеу, конвективті жылу беру, аэродинамикалық кедергі, жылуалмастырғыш, турбулизатор.*

**D. U. SYUGIROV, G. G. BAYSAROVA, S. M. OSPANOVA, M. K. SULEIMENOVA,  
K. M. SHAIKHIEVA**

Caspian University of Technology and Engineering named after Sh . Yesenova,  
Aktau, Republic of Kazakhstan

**SIMULATION OF CONVECTIVE HEAT TRANSFER OF A BANK  
OF PIPES WHEN USING TURBULATORS WITH CUTOUTS**

*The article discusses the mathematical modeling of the intensification of convective heat transfer of a smooth tube bundle. Turbulators with cutouts were used as heat transfer intensifiers. The mathematical model of the heat exchanger consisted of a section of a rectangular channel with a turbulator device. To solve the differential equation, the finite difference method was used, approximated by difference equations. On the basis of the calculations, for the purpose of choosing the size of the experimental object, the profiles of the velocity distribution before and after the turbulizer were obtained.*

**Key words:** *mathematical modeling, convective heat transfer, aerodynamic resistance, heat exchanger, turbulator.*



---

---

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Абуова А. – ассоц. профессор, Казахский университет путей сообщения, г.Алматы, Казахстан
2. Айтимова У. Ж. – кандидат физ.-мат наук, и.о.ассоц.профессора кафедры «Информационные системы», Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, г. Нур-Султан, Казахстан
3. Амантаева А. Б. – докторант кафедры Информатики КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
4. Амирова А.С. – докторант кафедры Информационные системы, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г.Нур-Султан, Казахстан
5. Ахметов С. М. – доктор технических наук, профессор ВАК, академик Национальной инженерной академии РК, индустриальный руководитель Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, руководитель Казахстанского отделения по г. Нур-Султан Международной научной школы устойчивого развития им. академика П.Г. Кузнецова
6. Ахметов Б. – доктор технических наук, профессор кафедры информатики и информатизации образования. Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г.Алматы, Казахстан
7. Ахметов Н. М. – доктор технических наук, доцент ВАК, декан Нефтегазового факультета Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, г. Атырау, Казахстан
8. Байсарова Г. Г. – доктор PhD, заведующий кафедрой Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан
9. Витулёва Е. С. – PhD candidate, старший преподаватель кафедры телекоммуникационных сетей и систем Института космической инженерии и телекоммуникаций Алматинского университета энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан

10. Ергалиева Б. Б. – докторант 1-го курса по специальности «Информационная безопасность», ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
11. Жаксыбаев Д. О. – магистр пед. наук, преподаватель кафедры информационных систем Западно-Казахстанского аграрно-технического университета имени Жангир хана, г.Уральск, Казахстан
12. Жұмабек М. Р. – магистрант, механико-математический факультет, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
13. Икласова Ж. У. – кандидат технических наук, доцент Нефтегазового факультета Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, г. Атырау, Казахстан
14. Иксанов С. – докторант кафедры искусственного интеллекта и Big Data КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
15. Калиаскаров Н. Б. – ст. преподаватель кафедры Технологии и системы связи, Карагандинский технический университет, г.Караганда, Казахстан
16. Карпов В. С. – кандидат технич. наук, гл. экономист Государственной корпорации «Агентство по страхованию вкладов», г.Москва, Российская Федерация
17. Кеншимов Ч. – PhD доктор, ст. научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан  
Кунелбаев Мурат – PhD доктор, ст.научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан
18. Коньшин С. В. – проректор по академической деятельности, кандидат технических наук, доцент ВАК РК, профессор Алматинского университета энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г.Алматы, Казахстан
19. Ла Л. Л. – кандидат ф.-м. наук, доцент кафедры «Информационные системы» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан

- 
20. Лохно В. – доктор технических наук, профессор кафедры компьютерных систем, сетей и кибербезопасности Национального университета естественных и экологических наук Украины, г. Киев, Украина
21. Мансурова М. – к.ф.-м.н., доцент, заведующая кафедрой искусственного интеллекта и Big Data КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
22. Молдашева Ж. Ж. – докторант кафедры «Информационные системы» ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
23. Мауина Г. М. – ассистент, кафедра «Информационные системы», Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, г.Нур-Султан, Казахстан
24. Мун Г. А. – доктор химических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК, заведующий кафедрой химии и технологии органических веществ, природных соединений и полимеров факультета химии и химической технологии Казахского национального университета им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
25. Мухатов М. М. – магистрант кафедры Информатики КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
26. Нукушева С. А. – кандидат технич. наук, кафедра «Аграрная техника и технологий», Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина, г. Нур-Султан, Казахстан
27. Оразбаев Б. Б. – доктор технич. наук, профессор, академик НИА РК, профессор кафедры «Системного анализа и управления» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
28. Оразбаева К. Н. – доктор технических наук, профессор кафедры «Менеджмент» Казахского университета экономики, финансов и международной торговли, г.Нур-Султан, Казахстан

29. Оспанов Р. М. – заместитель декана факультета «Информационные технологии» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
30. Сейткулов Е. Н. – к.ф.-м.н., профессор кафедры «Информационная безопасность», директор НИИ информационной безопасности и криптологии ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
31. Сатыбалдина Д. Ж. – к.ф.-м.н., заведующий кафедрой «Информационная безопасность» ФИТ ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
32. Сугиров Д. У. – д.т.н, профессор, академик МАИН РК, Каспийский университет технологии и инжиниринга имени Ш.Есенова, г.Актау, Казахстан
33. Оспанова С. М. – доктор PhD, ст. преподаватель, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан
34. Омариева Д. А. – Восточно-Казахстанский университет имени С.Аманжолова, г.Усть-Каменогорск, Казахстан
35. Сагындыкова Ш. – ассоц. профессор, Алматинский университет энергетики и телекоммуникаций, г.Алматы, Казахстан
36. Суйменова М. К. – магистр техники и технологии, старший преподаватель, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан
37. Сундетов Т. Р. – докторант, старший научный сотрудник, Институт информационных и вычислительных технологий, г. Алматы, Казахстан
38. Сулейменов И. Э. – доктор химических наук, кандидат физико-математических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК, профессор Института медийных технологий Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского, Симферополь, Республика Крым, Российская Федерация

- 
39. Ташатов Н. Н. – к.ф.-м.н., доцент кафедры «Вычислительная техника» ЕНУ им. Л.Н.Гумилева, г. Нур-Султан, Казахстан
40. Тунгатарова М. С. – PhD, старший преподаватель, механико-математический факультет, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан
41. Тохметов А. Т. – к.ф.-м.н., доцент кафедры «Информационные системы», Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Нур-Султан
42. Тулеуов Ж. Н. – управляющий директор по нефтепереработке Атырауского НПЗ, г. Атырау, Казахстан
43. Турсынбай А. Т. – старший преподаватель кафедры Информатики КазНУ им. аль-Фараби
44. Урмашев Б. А. – к.ф.-м.н., доцент, декан факультета информационных технологий КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
45. Черткова Е. А. – доктор технических наук, профессор НИУ Высшая школа экономики, Москва, Российская Федерация
46. Шайхиева К. М. – ст. преподаватель Каспийского университета технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан
47. Шакуликова Г. Т. – доктор экономических наук, профессор ВАК, академик Казахстанской национальной академии естественных наук (КазНАЕН), Председатель Правления-ректор Атырауского университета нефти и газа им. С. Утебаева, г. Атырау, Казахстан
48. Ыдырышбаева М. – преподаватель кафедры информационных систем. Казахский национальный университет им. аль-Фараби. г. Алматы, Казахстан
49. Югай В. В. – PhD, заведующий кафедрой «Технологии и системы связи», Карагандинский технический университет, г. Караганда, Казахстан

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |   |
|---|---|
| <i>Б. Т. Жұмағұлов.</i> Бағыты айқын жаңғыру жолы .....                         | 5 |
| <i>Б. Т. Жұмағұлов.</i> Формирование честных и справедливых «правил игры» ..... | 8 |

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

|   |    |
|---|----|
| <i>А. С. Амирова, А. Т. Тохметов.</i> Анализ рисков информационной безопасности в сетях промышленного Интернета вещей ..... | 10 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Б. С. Ахметов, В. А. Лахно, М. Б. Ыдырышбаева, А. К. Абуова, Ш. Сагындыкова.</i> Система поддержки принятия решений для оценки последствий кибератак ..... | 21 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| <i>Д. О. Жаксыбаев.</i> Разметка коллекции текстов ключевыми словами – аспекты автоматизации ..... | 30 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>М. Р. Жумабек, М. С. Тунгатарова.</i> Исследование эффективности хранения тепловой энергии в различных типах кратковременных аккумуляторов ..... | 40 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Ч. Кеншимов, Т. Р. Сундетов, М. М. Кунелбаев, С. Ш. Иксанов, М. Мансурова.</i> Разработка системы питания, алгоритма управления и архитектуры вербального робота ..... | 50 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| <i>Г. М. Мауина, Е. А. Черткова, В. С. Карпов, С. А. Нукушева, У. Ж. Айтимова.</i> Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений для агропредприятий Северного Казахстана ..... | 58 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Б. Б. Оразбаев, Ж. Ж. Молдашева, Л. Л. Ла, К. Н. Оразбаева, Ж. Н. Тулеуов, Б. Е. Утенова.</i> Разработка моделей станции подогрева нефти магистральных нефтепроводов в условиях нечеткости исходной информации ..... | 71 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| <i>Е. Н. Сейткулов, Р. М. Оспанов, Н. Н. Ташатов, Б. Б. Ергалиева, Д. Ж. Сатыбалдина.</i> Набор безусловных критериев оптимальности S-блоков ..... | 83 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>В. В. Югай, Н. Б. Калиаскаров.</i> Исследование взрывобезопасных волоконно-оптических датчиков давления с использованием метода контроля дополнительных потерь ..... | 91 |
|---|----|

### ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

|  |     |
|--|-----|
| <i>Г. А. Мун, Е. С. Витулёва, С. В. Коньшин, И. Э. Сулейменов.</i> Алгоритмическая основа функционирования частично автономных боевых нейронных сетей: алгебраизация языковых форм ..... | 103 |
|--|-----|



|   |     |
|---|-----|
| <i>Д. А. Омариева.</i> Стабилизированный метод конечных элементов для уравнения для насыщенности в задаче фильтрации двухфазной неравновесной жидкости .....                              | 113 |
| <i>Б. А. Урмашев, А. Т. Турсынбай, А. Б. Амантаева, М. М. Мухатов.</i> Приемы создания заданной концентрации лекарственных средств для линейных камерных моделей фармакокинетики .....    | 123 |
| <i>Г. Т. Шакуликова, С. М. Ахметов, Н. М. Ахметов, Ж. У. Икласова.</i> Особенности математического моделирования параметров трансмиссии буровых установок с планетарными передачами ..... | 129 |
| <b>ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ</b>  |     |
| <i>Д. У. Сугиров, Г. Г. Байсарова, С. М. Оспанова, М. К. Суйменова, К. М. Шайхиева.</i> Моделирование конвективного теплообмена пучка труб при применении турбулизаторов с вырезами ..... | 137 |
| <b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....  | 143 |

## CONTENTS

|   |   |
|---|---|
| <i>B. T. Zhumagulov.</i> Clear direction of the renaissance path .....            | 5 |
| <i>B. T. Zhumagulov.</i> Formation of fair and rightful “rules of the game” ..... | 8 |

### INFORMATION TECHNOLOGY

|   |    |
|---|----|
| <i>A. S. Amirova, A.T. Tokhmetov.</i> Information security risk analysis in the networks of the industrial internet of things .....   | 10 |
| <i>B. S. Akhmetov, V. A. Lakhno, M. B. Ydyryshbayeva, A. Abuova, Sh. Sagyndykova.</i> Decision support system for assessing the consequences of cyber attacks .....   | 21 |
| <i>D. O. Zhaxybayev.</i> Marking a collection of texts with the keywords - automation aspects.....  | 30 |
| <i>M. R. Zhumabek, M. S. Tungatarova.</i> Study of the efficiency of thermal energy storage in various types of short – term thermal energy storages .....  | 40 |
| <i>Ch. Kenshimov, T. R. Sundetov, M. M. Kunelbayev, S. Sh. Ixanov, M. Mansurova.</i> Development of the supply system, control algorithm and architecture of verbal robot .....   | 50 |
| <i>G. M. Mauina, E. A. Chertkova, V. S. Karpov, S. A. Nukusheva, U. Zh. Aytimova.</i> Information and analytical system of decision-making support for agricultural enterprises of northern Kazakhstan .....  | 58 |
| <i>B. Orazbayev, Zh. Moldasheva, L. La, K. Orazbayeva, Zh. Tuleuov, B. Utenova.</i> Problem of decision-making on control of the process of hydraulic treatment of a catalytic reforming plant in a fuzzy medium and development of a method for its solution ..... | 71 |
| <i>Y. N. Seitkulov, R. M. Ospanov, N. N. T., B. B. Yergaliyeva, D. Zh. Satybal-dina.</i> Set of unconditional criteria for optimal s-blocks .....   | 83 |
| <i>V. V. Yugay, N. B. Kaliaskarov.</i> Investigation of explosion-proof fiber-optic pressure sensors using the method of additional loss control .....  | 91 |

### APPLIED MATHEMATICS

|  |     |
|--|-----|
| <i>G. A. Mun, Y. S. Vitulyova, S. V. Konshin, I. E. Suleimenov.</i> Algorithmic basis for the functioning of private autonomous combat neural networks: algebraization of language forms ..... | 103 |
| <i>D. A. Omariyeva.</i> Stabilized finite element method for the saturation equation in the two-phase nonequilibrium fluid flow problem .....  | 113 |

*B. A. Urmashev, A. T. Tursynbai, A. B. Amantaeva, M. M. Mukhatov.* Methods for creating a prescribed drug concentration for linear chamber models of pharmacokinetics ..... 123

*G. T. Shakulikova, S. M. Akhmetov, N. M. Akhmetov, Zh. U. Iklasova.* Features of mathematical modeling transmission parameters of drilling rigs with planetary gears ..... 129

**TECHNICAL SCIENCE**

*D. U. Syugirov, G. G. Baysarova, S. M. Ospanova, M. K. Suleimenova , K. M. Shaikhieva.* Simulation of convective heat transfer of a bank of pipes when using turbulators with cutouts ..... 137

**THE INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 143**

Редактор *М. Ахметова*  
Верстка на компьютере *Е.В. Огурцовой*

Адрес редакции:  
Национальная инженерная академия РК  
*050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80*  
*Тел. 8(727)-2915290*

Подписано в печать 10.03.2022 г.  
Гарнитура Таймс. Формат 70x100  $\frac{1}{16}$ .  
Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 1000 экз.

*Отпечатано в типографии ТОО «Luxe Media Publishing»*