



Қазақстан Республикасы
Ұлттық инженерлік академиясының

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии
Республики Казахстан

№ 2 (92)

Алматы
2024

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

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Н. М. Темирбеков – академик, заместитель главного редактора; **Е. И. Имангалиев** – ответственный секретарь; академик **Ж. М. Адиллов**, академик **А. Ч. Джомартов**, академик **Р. А. Алшанов**, академик **М. Ж. Битимбаев**, 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 **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. M. Temirbekov – 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. I. Vasilyev**, academician (Ukraine); **B. V. Gusev**, academician (Russia); **G. Zh. Zholtayev**, academician; **Wójcik Waldemar** academician (Poland); **K. K. Kadyrzhанov**, 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); **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, ntpneark@mail.ru, 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 “Evrika 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, ntpneark@mail.ru, www.neark.kz



***Бакытжан ЖУМАГУЛОВ,**
академик НАН РК,
президент Национальной инженерной академии РК*

ПРОМЕТЕЙ КАЗАХСТАНСКОЙ НАУКИ

День науки в Казахстане справедливо отмечается 12 апреля, в день рождения академика Каныша Сатпаева. Символично и то, что 12 апреля был совершен первый полет человека в космос именно с казахской земли.

У мысли Сатпаева был космический полет, он навсегда вошел в плеяду тех, кто значимо продвинул к прогрессу и прославил родную республику. Ставший при жизни кумиром для миллионов, он и сейчас служит нам, ведь «огонь Прометея», переданный титаном отечественной науки, пылает в сердцах пытливых ученых.

Он мощный пример того, как неуклонно достигать поставленных целей и с предельной отдачей трудиться на благо народа.

Возвысил степь, постигнув недра

Деятельность Каныша Сатпаева – блестящий образец выдающейся роли ученого в истории. Он не только сделал «почти прозрачными» богатейшие недра Казахстана, но и внес мощный вклад в индустриальное становление страны. Перефразируя крылатое выражение Олжаса Сулейменова, можно сказать, что он возвысил степь, постигнув недра.

Поэт и государственный деятель Какимбек Салыков написал о встрече с Сатпаевым: «Когда я его впервые близко увидел в зале Дворца металлургов Жезказгана, он сидел в президиуме как огромный орел среди степных птиц... Его улыбка излучала особую божественную, неземную теплоту, и казалось, что он своим большим притягательным сердцем установил живые связи в один миг со всеми и с каждым в отдельности».

Всегда нацеленный на результат, он умел «зажигать» людей. Обладал даром убеждения, не пасуя перед инстанциями, включая руководство СССР. Сатпаев обращался и к первому секретарю ЦК Компартии Казахстана Ж. Шаяхметову, и к союзным руководителям – Г. Орджоникидзе, М. Сулову и А. Косыгину, как правило, получая поддержку. Когда же аргументы не воспринимались, «он мог резко выступить в любых

кабинетах, включая и самые высокие, чему я был свидетелем в Кремле» (академик Б. Патон).

Такой масштабной личности оказалась по плечу грандиозная миссия Преобразователя. На этом пути многое было сделано впервые – в республике, стране и мире.

Каныш Имантаевич Сатпаев – первый профессиональный геолог-казах, открывший огромные запасы меди Жезказгана, марганец Жезды и другие месторождения, организатор и первый президент Академии наук Казахстана, первый лауреат Госпремии СССР и Ленинской премии, первый академик Академии наук СССР из республик советского Востока. Его 100-летие отмечалось под эгидой ЮНЕСКО.

При этом К.И. Сатпаев был не только ученым, но и настоящим инженером (получил образование горного инженера), пронесшим через всю жизнь стремление воплощать в практику научные разработки. И не только в геологии. Он создал первый (1 467 страниц в версии латиницы) школьный учебник по алгебре на казахском языке. Приложил максимум усилий для разработки и продвижения канала Иртыш – Караганда, словно предугадывая будущие проблемы.

Написал более 640 научных работ, многие, особенно по природным запасам, имели промышленное значение и сыграли прорывную роль в развитии Казахстана. Сподвижник Сатпаева Ш.Ч. Чокин отмечал, что Каныш Имантаевич был примером того, как надо жить для своего народа.

А ведь Каныш Сатпаев мог пойти по стезе учителя или юриста, поскольку получил педагогическую и правоведческую подготовку в престижной тогда Семипалатинской учительской семинарии (1914–1918). Здесь были видные представители казахской интеллигенции, лидеры алашординского движения – Ахмет Байтурсынулы, Алихан Бокейхан, Миржакып Дулатов, Абикей Сатпаев (профессор, двоюродный брат К. И. Сатпаева). Он был знаком со знаменитым просветителем и поэтом Султанмахмутом Торайгыровым, а ставшие позднее всенародно известными Мухтар Ауэзов, Алькей Маргулан и Жусупбек Аймауытов были его однокашниками.

После семинарии он вернулся в родной аул, где поначалу учительствовал. Но уездные власти обратили внимание на способного молодого учителя и назначили его народным судьей. Как знать, какую бы в итоге он выбрал стезю, но вмешался его величество случай в лице профессора Томского технологического института М. А. Усова, приехавшего на кумысолечение и потрясшего молодого человека рассказами о строении планеты и богатствах подземных кладовых.

В институте была сильная геоинженерная школа. Программы обучения были перенесены академиком В. А. Обручевым из знаменитого Петербургского университета. Знания давались системные в сочетании с практикой и работой в экспедициях.

Как подчеркивает неустанный исследователь наследия, заведующая мемориальным кабинетом ученого в КазНИТУ им. К. И. Сатпаева (Satbayev University) кандидат биологических наук Надежда Васильевна Ниретина, будущие разведчики недр изучали 55 предметов. Системное изучение и пропаганда наследия ученого ведется Международным фондом им. К. И. Сатпаева под руководством сенатора Алтынбека Нухулы.

С такой капитальной подготовкой Каныш Сатпаев вступил в самостоятельную жизнь, готовившую ему фантастическое предназначение.

Индустриальная юрта

Уже в начале карьеры молодой горный инженер проявлял такие ценные качества, как упорство, предприимчивость и изобретательность.

Он взялся за организацию первых стационарных геологоразведочных работ, положив начало планомерному выявлению полезных ископаемых в Улытау-Жезказганском регионе с его суровым климатом. Сатпаев считал важным создание постоянной, а не сезонной, как прежде, геологоразведочной службы. Она, по словам академика Айтмухамеда Абдулина, обеспечила бы новые масштабы, методы, качество разведки и исследования медных руд для их обогащения и металлургического передела. Это был совершенно новый подход.

К концу 1931 года Жезказган, где английские концессионеры в свое время подсчитали всего 60 тыс. тонн металла, по выявленным запасам меди занял первое место в стране, а в 1934-м – и в мире.

Но чего это стоило! Сковывала зашоренность вышестоящего органа – Геолкома, не раз грозившего сворачиванием работ, урезавшего фонды и финансирование. По настоянию Сатпаева в 1934 году в Москве при АН СССР состоялась научная сессия, посвященная производительным силам Большого Жезказгана и Большого Алтая, с участием светил науки: академиков В. А. Обручева, А. Д. Архангельского, А. А. Байкова, И. М. Губкина, Б. Е. Веденеева. Каныш Имантаевич доложил о колоссальных минеральных богатствах Жезказгана. В том же году он добился приема у наркома тяжелой промышленности Г.К. Орджоникидзе и убедил в необходимости принятия конструктивных решений.

А по существу все началось с казахских юрт, согревших в лютые морозы разведчиков земных глубин и бурильное оборудование. При остром дефиците средств и материалов Каныш Имантаевич отказался от громоздких сооружений вокруг станков, требовавших привозного леса и отнимавших при перевозке почти 30% времени для бурения. Он решил перейти на легкие войлочные юрты, которые оказались гораздо теплее и требовали лишь несколько часов на переноску.

Сложнее было с кадровым вопросом. Надо было искать все новых бурильщиков, коллекторов и других рабочих. В этом Сатпаеву помогала человеческая зоркость, персонал он набирал из местного населения. Способную молодежь отправлял на учебу в Ленинград и Москву, расширял и сеть подготовительных курсов при геологоразведке. В каждой бригаде было удвоено число бурильщиков, чтобы бывшие чабаны наглядно, в рабочем процессе учились у мастеров.

Нестабильность финансирования побудила освоить новый, считавшийся тогда «капиталистическим» метод изыскания средств – хозяйственные отношения с предприятиями. Видя его целеустремленность и поверив в намеченные цели, люди сами не хотели уходить из геологоразведки, невзирая на трудности.

Преодолевая невзгоды, он не падал духом и мечтал о счастливом будущем своего народа. В 1947 году академик в составе делегации СССР посетил Великобританию. Во время встречи с Уинстоном Черчиллем произошел примечательный эпизод. Когда экс-премьер, вскинув голову, спросил: «Так же высоки ростом и другие казахи?» – Каныш Имантаевич дипломатически-элегантно парировал: «Мой народ выше меня». Так мог сказать истинный сын народа.

Так закалялась сталь Победы

Великие умы своими помыслами, бывает, опережают время. Сатпаев, созидая будущее, спешил укрепить мощь страны.

Будучи заместителем председателя президиума Казахского филиала АН СССР, с началом Великой Отечественной войны Каныш Имантаевич перенацелил план научной деятельности на помощь фронту. Разрабатывались и внедрялись предложения по резкому увеличению выплавки свинца, олова, меди, молибдена. Он активно включился в работу Комиссии по мобилизации ресурсов Казахстана, Урала и Сибири на нужды обороны, работавшей в Алма-Ате под руководством президента АН СССР

В.Л. Комарова.

В августе 1941 года Советский Союз потерял два крупнейших месторождения марганца – Никопольское и Чиатуриновское, была почти остановлена добыча марганцевой руды. Под угрозой оказался выпуск стали для брони танков. Главный вражеский пропагандист Геббельс поспешил заявить: «Отныне советские заводы обречены на марганцевый голод!»

Но не тут-то было! Еще в 1928 году Каныш Сатпаев увидел марганцевые проявления в поселке Жезды, недалеко от Жезказгана. В условиях военного времени ученый предложил смелое и рискованное решение: одновременно с форсированной доразведкой начинать промышленное освоение и строительство рудника. И уже 12 июня 1942 года Жездинский рудник начал давать марганец. А к 1943-му поставлял Магнитогорску 70,9% марганцевых руд.

В том же году в «Казахстанской правде» Сатпаев писал: «Все колоссальные запасы недр Казахстана поставлены сейчас на службу обороны Родины. Казахстан стал ведущей в Союзе республикой по выпуску свинца, молибдена и одной из первых по выплавке меди. Каждые девять из десяти пуль, разящие гитлеровское зверье, отливаются из свинца, добытого в Казахстане. Больше половины танков и самоходных орудий одеты в броню, в которую вплавлен казахстанский молибден.

...Высокосортные марганцевые руды Казахстана заменили собой временно потертые никопольские. Они обеспечивают сейчас работу уральских металлургических заводов – оплота вооруженной мощи СССР».

И еще факт, отмеченный академиком Л. Я. Яншиным: «Осенью 1941 г. в окрестностях Алма-Аты можно было наблюдать полное солнечное затмение. Поэтому сюда съехались со своим оборудованием астрономы из всех обсерваторий страны. К. И. Сатпаев всем им предложил остаться до конца войны в Алма-Ате и создал для них Астрономический институт. Он охотно приглашал на работу ученых разных специальностей из Киева, Харькова и Ростова, организовывал лаборатории, а впоследствии превращал их в научно-исследовательские институты. По его рекомендации Правительство Казахстана разрешило Московскому геологоразведочному институту эвакуироваться в Семипалатинск, Киевскому геологическому управлению – в Актюбинск, а курорт Боровое был предоставлен для эвакуированных из Москвы семей пожилых академиков. Казахстан во время войны охранял цвет науки Советского Союза».

Таким авторитетом и политическим весом обладал Сатпаев в сорок с небольшим лет.

Вклад ученого в победу был достойно отмечен. В 40-е ему присуждена Государственная премия СССР, он был избран членом-корреспондентом АН СССР, награжден вторым орденом Ленина, орденом Отечественной войны II степени и медалью «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

Металлогений

Дальновидный и прагматичный, он замыслил изменить статус филиала, сделав его самостоятельной Академией.

Уже осенью 1945 года принимается постановление СНК СССР «О подготовительных мероприятиях по созданию Академии наук Казахской ССР». Открытие АН Казахстана состоялось 1 июня 1946 года. Ее первым президентом был единодушно избран К. И. Сатпаев, ставший в том же году академиком АН СССР.

В научном центре республики работало уже свыше 1 500 человек, в том числе 78 докторов наук и профессоров, около 200 кандидатов наук, значительно выросло число ученых-казахов. В состав АН КазССР входили 15 НИИ и семь секторов, ставших затем тоже институтами. В развитии АН КазССР большую помощь оказали многие выдающиеся деятели советской науки. И к 1951 году научных учреждений уже насчитывалось 47, в том числе 20 НИИ.

С первых шагов Академии Сатпаев стал активно направлять ученых на решение практических проблем, развитие связей науки с производством. Тогда зародилась и мысль о создании координирующего органа, который бы связал фундаментальные исследования с прикладной наукой и практикой. Позже эта идея была заложена в основу создания в 1991 году Инженерной академии Казахстана.

Но растущее влияние Сатпаева кое-кому было не по нраву: над ним и Академией стали сгущаться тучи. Комиссии и проверки сменяли одна другую. В 1951 году Сатпаева обвинили в национализме и сокрытии социального происхождения, опеке националистов и симпатиях к Алаш Орде.

Он упорствовал, ученых Х. Д. Джумалиева, Е. Исмаилова, писателя М. О. Ауэзова и композитора А. К. Жубанова, обвиняемых в национализме, уволить категорически отказался. Бюро ЦК КП Казахстана сняло его с поста президента Академии.

Руку помощи протянул президент АН СССР А. Н. Несмеянов, предложив возглавить Уральское отделение или стать заместителем председателя геолого-географического отделения АН СССР. Но Каныш Имантаевич ответил, что нужен республике. Ему удалось сохранить пост директора Института геологических наук АН КазССР, отчего геология и экономика только выиграли. Академик сосредоточился на металлогении, родоначальником которой считается по праву, и это направление стало известно под именем казахстанской металлогенической школы.

Был разработан эффективный метод анализа месторождений и создана Комплексная прогнозная металлогеническая карта Центрального Казахстана, за которую в 1958 году он с группой ученых были удостоены Ленинской премии. В 1960-м отмечалось, что в Центральном Казахстане было открыто 358 новых месторождений и рудопроявлений черных, цветных и редких металлов, и 333 из них (93%) на площадях, выделенных на карте особо перспективными.

Опала продлилась до 1955 года, когда Сатпаева выслушал руководивший республикой П.К. Пономаренко. Прозвучали здравые предложения по развитию научно-производственного потенциала Казахстана. Вскоре ученый был восстановлен в прежней должности и до конца своих дней руководил Академией.

Школа Сатпаева – это большая группа крупных ученых в разных отраслях знаний. Это М. О. Ауэзов, Х. А. Барлыбаев, А. Б. Бектуров, М. И. Горяев, А. К. Жубанов, А. Х. Маргулан, Н. Г. Кассин, Р. А. Борукаев, Е. А. Букетов, Ш. Ч. Чокин, Г. Ц. Медоев, Н. В. Павлов, М. П. Русаков, Ф. Г. Фесенков...

В 1997 году Академия наук утратила свое былое значение, став общественной организацией с нестабильным финансированием, прекратился приток молодых ученых.

Ситуация кардинально изменилась с подписанием 27 марта 2023 года Президентом страны Касым-Жомартом Токаевым Указа, определившего переименование Академии в НАО «Национальная академия наук Республики Казахстан при Президенте Республики Казахстан». Важнейшее научное учреждение вернулось под патронат государства.

Имя же Сатпаева вписано в историю. Многие свершения связаны с ним: развитие сырьевой базы черной и цветной металлургии, освоение железных руд Торгая и Костанайщины, создание Жезказганского горно-металлургического и Карагандинского металлургического комбинатов. Город Сатпаев, поселок в Баянаульском районе, улицы, музеи, научные учреждения и школы, именной астероид, минерал, ледник...

Это имя теперь слито воедино с Днем науки, что справедливо: ведь Сатпаев – воплощение возможностей интеллекта в служении людям, а нашу науку просто невозможно представить без ее ярчайшего выразителя. Отрадно констатировать, что мне, будучи министром образования и науки, удалось инициировать и довести до завершения идею совмещения в одной праздничной дате двух знаменательных дней.

К 100- и 120-летнему юбилеям среди школьников и студенчества проводились конкурсы сочинений, молодежь знакомилась с наследием Сатпаева. В нынешнем году Министерство просвещения при поддержке НАН РК и Национальной инженерной академии РК проводит конкурс сочинений «К. И. Сатпаев и Казахстан сегодня» среди учащихся 8–11-х классов с охватом около миллиона человек.

Популярность этой великой личности в народе должна быть не меньшей, чем у батыров и правителей. Сатпаев созидал мощь нашей Родины, задавал векторы ее развития на десятилетия вперед. Созданная им геологическая школа была передовой, геологическая система работала продуктивно. Но Министерство геологии в 1997 году было ликвидировано, а заменивший его Комитет геологии и недропользования кочует из ведомства в ведомство. Отрасль штормило уже в 80-е годы, но в ней еще работало около 90 тыс. специалистов, а теперь едва ли насчитается 12 тысяч.

Лучшее, что мы можем сделать, воздавая дань памяти выдающемуся соотечественнику – возродить на новом уровне заложенные корифеем науки и инженерного дела механизмы и вывести нашу геологию на новые горизонты. Это крайне важно для развития страны.

А на жизнь-подвиг Каныша Сатпаева должна равняться молодежь, которой предстоит строить светлое и справедливое будущее Казахстана.

*«Казахстанская правда»
от 10 апреля 2024 № 70 (30197)*

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

UDC 004.89

<https://doi.org/10.47533/2024.1606-146X.21>

Z. ABDIAKHMETOVA¹, ZH. TEMIRBEKOVA^{1*}, G. H. AIMAL RASA²

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Information Technology, Almaty, Kazakhstan;*

²*Kabul Education University, Kabul, Afghanistan.*

e-mail: aimal.rasa14@keu.edu.af,

**temyrbekovazhanerke2@gmail.com*

USING ATMEGA 328 MICROCONTROLLER FOR EFFECTIVE STUDENT LEARNING

Use of the latest achievements in the field of microcontroller programming, such as the Arduino platform, allows to qualitatively change the educational process, makes it more intense, increases student motivation, and makes it possible to implement an individual approach, which is important. And this, in turn, improves the efficiency and quality of microcontroller programming. The purpose of this study is to propose an effective methodology for using Arduino Atmega 328 microcontrollers for teaching students and evaluate the effectiveness of teaching programming based on the use of Arduino Atmega 328 microcontrollers based on the Kirkpatrick model. The paper presents a broad review of works that consider the interaction of a person and microcontrollers. In addition, the impact of this approach on the process of learning and teaching is being evaluated. More than 95 students took part in this experiment. First, during the semester, students were taught programming using Arduino Atmega 328 microcontrollers, after which they evaluated this learning. The evaluation was carried out at three levels of the Kirkpatrick model [1], and as a result, the second and third levels showed almost the same results with an error of 3 percent. This study concluded that such teaching methodology is very important in the process of student learning. Interaction and collaboration in the field of microcontroller programming has also been used to introduce non-traditional curricula, including courses in robotics as a tool for addressing the social aspects of robotics and artificial intelligence.

Key words: *programming, microcontrollers, arduino, effectivity, methodology.*

З. М. АБДИАХМЕТОВА¹, Ж. Е. ТЕМИРБЕКОВА^{1*}, Г. Х. АЙМАЛ РАСА²

¹*әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, ақпараттық технологиялар факультеті, Алматы, Қазақстан;*

²*Қабул педагогикалық университеті, Кабул, Афғанистан.*

e-mail: aimal.rasa14@keu.edu.af,

**temyrbekovazhanerke2@gmail.com*

СТУДЕНТТЕРДІҢ ТИІМДІ ОҚУ ҮШІН ATMEGA 328 МИКРОБАҚЫЛАУШЫСЫН ПАЙДАЛАНУ

Arduino платформасы сияқты микроконтроллерлерді бағдарламалау саласындағы соңғы жетістіктерді пайдалану оқу процесін сапалы өзгертуге мүмкіндік береді, оны көбірек етеді, студенттердің ынтырасын арттырады және жеке көзқарасты жүзеге асыруға мүмкіндік береді, бұл маңызды. Ал бұл, өз кезегінде, микроконтроллерді бағдарламалаудың тиімділігі мен сапасын арттырады. Бұл зерттеудің мақсаты студенттерді оқыту үшін *Arduino Atmega 328* микроконтроллерлерін пайдаланудың тиімді әдістемесін ұсыну және *Киркпатрик* моделі негізінде *Arduino Atmega 328* микроконтроллерлерін пайдалану негізінде бағдарламалауды оқытудың тиімділігін бағалау болып табылады. Жұмыста адам мен микроконтроллерлердің өзара әрекеттесуін қарастыратын жұмыстардың кең шолуы берілген. Сонымен қатар, бұл тәсілдің оқу мен оқыту үдерісіне әсері де бағалануда. Бұл экспериментке 95-тен астам оқушы қатысты. Біріншіден, семестр барысында студенттерге *Arduino Atmega 328* микроконтроллері арқылы бағдарламалау үйретілді, содан кейін олар осы оқуды бағалады. Бағалау *Киркпатрик* моделінің үш деңгейінде жүргізілді [1], нәтижесінде екінші және үшінші деңгейлер 3 пайыздық қателікпен бірдей дерлік нәтиже көрсетті. Бұл зерттеуде мұндай оқыту әдістемесі студенттердің оқу процесінде өте маңызды деген қорытындыға келді. Микроконтроллерді бағдарламалау саласындағы өзара әрекеттесу және ынтымақтастық сонымен қатар дәстүрлі емес оқу жоспарын, соның ішінде робототехника мен жасанды интеллекттің әлеуметтік аспектілерін шешу құралы ретінде робототехника курстарын енгізу үшін пайдаланылды.

Түйін сөздер: бағдарламалау, микроконтроллерлер, *Arduino*, тиімділік, әдістеме.

З. М. АБДИАХМЕТОВА¹, Ж. Е. ТЕМИРБЕКОВА^{1*}, Г. Х. АЙМАЛ РАСА²

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, факультет информационных технологий, Алматы, Казахстан;

²Кабульский педагогический университет, Кабул, Афганистан.

e-mail: temyrbekovazhanerke2@gmail.com,

aimal.rasa14@keu.edu.af.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ATMEGA 328 ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ

Использование новейших достижений в области программирования микроконтроллеров, таких как платформа Arduino, позволяет качественно изменить учебный процесс, делает его более интенсивным, повышает мотивацию учащихся, дает возможность реализовать индивидуальный подход, что немаловажно. А это, в свою очередь, повышает эффективность и качество программирования микроконтроллеров. Цель данного исследования – предложить эффективную методику использования микроконтроллеров Arduino Atmega 328 для обучения студентов и оценить эффективность обучения программированию на основе использования микроконтроллеров Arduino Atmega 328 на основе модели Киркпатрика. В статье представлен широкий обзор работ, рассматривающих взаимодействие человека и микроконтроллеров. Кроме того, оценивается влияние такого подхода на процесс обучения и преподавания. В эксперименте приняли участие более 95 студентов. Сначала в течение семестра студентов обучали программированию с использованием микроконтроллеров Arduino Atmega 328, после чего они оценивали полученные знания. Оценка проводилась на трех уровнях модели Киркпатрика [1], в результате второй и третий уровни по-

казали практически одинаковые результаты с ошибкой в 3 процента. В этом исследовании сделан вывод, что такая методика преподавания очень важна в процессе обучения студентов. Взаимодействие и сотрудничество в области программирования микроконтроллеров также используются для внедрения нетрадиционных учебных программ, в том числе курсов по робототехнике как инструмента решения социальных аспектов робототехники и искусственного интеллекта.

Ключевые слова: программирование, микроконтроллеры, Arduino, эффективность, методология.

1. Introduction. Over the past few years, we have seen a huge need for educational systems to equip students with competencies that are increasingly required in the labor market [2], such as innovation, collaboration, problem solving, critical thinking and digital literacy [3]. This encourages academic institutions to work on approaches to teaching and learning, to promote the development of such competencies, and to promote pedagogical innovation and digital learning [4]. Microcontroller lesson material is needed in order to improve students' readiness to work. Almost all equipment in the industry has used automation in the production process. Meanwhile, to study microcontroller material better, microcontroller trainer media is needed. Currently, Arduino is one of the most convenient platforms for developing control devices on microcontrollers [5]. The Arduino board contains: Atmel's ATmega microcontroller, reset circuits, a quartz resonator, a built-in power supply voltage stabilizer, a USB adapter that provides communication with a personal computer, a built-in programmer, tools for in-circuit programming [6]. Arduino's programming language is based on C/C++, but has a simplified syntax and is relatively easy to learn [7]. The Arduino platform makes it relatively easy to develop applications based on AVR microcontrollers and has a number of advantages over other platforms in terms of learning and mastering the technology of developing microcontroller devices: Low cost; Cross platform; Simple and clear programming environment; Extensible open source software; Arduino modules are expandable hardware with open circuit diagrams [8].

The above advantages can be decisive when choosing an object of study and research, study and research of development technologies based on microcontrollers with a limited time volume of training courses on microprocessor technology [9]. Such time limitations are typical during the transition to a bachelor's degree, as well as for specialties in which electronics and microprocessor technology are introductory courses. It is necessary to indicate one more distinctive feature of the Arduino platform in terms of use in the educational process. This is relatively cheap compared to industrial "brand" laboratory equipment. For example, the NI MyRIO-based laboratory setup from National Instruments [10] relies on the Lab View software environment. The cost of NI MyRIO with the Lab View software environment, depending on the composition of the modules, can reach several hundred thousand rubles [11, 12]. The Arduino board is ideal for the first steps in this area, because has a compact size and simple circuitry.

2. Literature Review. The use of microcontrollers in the education process, not only for students of computer science, computer engineering and related specialties, but also for physicists, chemists, mathematicians, networkers and others [13] is one of the most necessary in the modern educational environment [14]. From the basics of the electromechanical device of modern digital devices to the level of the assembler of these devices, programming both individual components [15] and the entire device based on visual aids and debug-

gers allows the student to gain valuable practical skills and abilities that are generally aimed at systematization of knowledge and skills. It is also important to note the widespread use of Arduino microcontrollers not only in higher education institutions, but also for teaching senior students of secondary schools, gymnasiums, lyceums, as well as colleges.

Learning using microcontrollers for a teacher can be accompanied by a number of problems, such as installing an accompanying programming platform, mastering a programming language, a large array of sensors and circuits on a board, teaching methods [5] and presenting educational material.

The use of Arduino Atmega 328 microcontrollers allows the student to understand the real situation in the context of circuits, experiment, invent, make mistakes, correct mistakes. Although the process of real-world context to microcontroller context may be accompanied by some problems of learners [16], in the process of sequential learning they can be overcome.

In teaching programming in laboratory classes, the results of a 2021 study by [17] showed that students as interesting and exciting characterized the use of Arduino microchips. A survey was also conducted, the results of which revealed that microcontrollers have a visually positive effect on the perception of educational material. In general, this and many other [18] studies confirm the importance and interest in using Arduino Atmega 328 microcontrollers among students. The formation of design competence is implemented with strict consistent implementation of the instructions of the rules for working with microcontrollers.

An analysis of the effectiveness of the Arduino Atmega 328 microcontroller was carried out in the work of [19]. The magnitude of the effect obtained was more than 60%, which confirmed the effectiveness of using these devices. Features such as the type of school, the presence of a course in the curriculum, the peculiarity of the student, the chosen programming language, the time of study, the number of hours per week and the contingent of students were taken into account in the calculation of efficiency. However, it is important to note that this study was conducted in schools, among students.

The importance of using microcontrollers is also noted in higher education institutions. For example, Arduino has been used in a biological analysis process for glucose detection [20], in information security tasks, in a security and energy efficient home automation system, as well as data logging related to solar panel use. Arduino has also been used in weather monitoring, in gesture control, it was integrated into the digital signal processing system from the well, as well as IoT-based air quality monitoring using Arduino sensors and MQ series with dataset analysis.

3. Research method. The purpose of this paper is to describe the methodology of using Arduino Atmega 328 microcontrollers for effective student learning. To achieve this goal, the following tasks should be performed:

- 1) To justify the choice of the necessary programming languages for their step-by-step study from the point of view of the simplicity of their development and at the same time the completeness of functionality for use in robotics;
- 2) Give recommendations on the study of microcontrollers of the software element base at the university.

This device contains at the same time a microcontroller (usually from Atmel), a programmer, a quartz resonator, a power stabilizer, and much more that is necessary for

comfortable use. This device is programmed from the USB port. For Arduino Atmega 328, there is a special development environment Arduino IDE, written on the Java virtual platform. The Arduino IDE has a C++ dialect that will make it easier for the student to understand. Arduino IDE is a free environment. The authors of the article consider it the most relevant for today's application for teaching students.

Arduino serves to solve one difficult problem; it is how to teach students how to create electronic devices. Arduino is a flexible tool for designing automated and automatic control systems at the physical and software levels [15].

4. Materials and methods.

4.1 Research context. This study was conducted at the Faculty of Information Technology of the Kazakh National University named after al-Farabi for 3rd year students of the specialties "Computer Engineering" and "Computer Engineering and Software". The program of the course with the optional component "Design and Embedded Multiprocessors" implies 1 lecture and 2 laboratory classes, in total 45 hours or 5 credits. Training and research was carried out in the laboratory of "Intelligent Programmable Systems" for 5 years. The prerequisites of this course are the disciplines "Physics", "Integrated Circuits". Participants of the study, 3rd year students who do not have experience with Arduino microcontrollers. Teachers are concerned about the effectiveness of using microcontrollers, namely Arduino, assessing the work of a teacher based on student surveys, student performance and the process of developing education.

4.2 Procedures. The effectiveness of training using Arduino microcontrollers was carried out on the basis of the classical approach is the Kirkpatrick model. The four-level model contains the following steps: learner's reaction or learners opinion and feelings about learning; learning is an indicator of the growth of education and skills; behavior is improvement of skills and abilities, usually based on the assessment of the teacher; the result is the effect of learning.

All of these measurements are recommended for a complete and meaningful assessment of the learning process. To implement the assessment, a study was conducted based on a survey of students. The questionnaire consists of 20 questions assessing response and learning, that is, the first three stages of the Kirkpatrick model. 95 students took part in the survey, Table 1 shows the characteristics of the surveyed groups.

Questions for the survey were compiled on the basis of a review of a large volume of research and analysis. For this study, the 2 stages of the Kirkpatrick model are more informative and important. Therefore, the main part of the questions was compiled in these two sections. Several questions are devoted to determining views on the accessibility of the course: understandability, complexity, importance in the future, novelty, competence of the teacher. Further, it is proposed to evaluate the relevance, applicability, organization of the educational process on a scale. The rating scale consists of 5 points. Participants anonymously, in an independent form, could mark the necessary points.

The next group of questions is devoted to assessing the acquired theoretical knowledge and practical skills on the basis of multiple choice test questions. This group of questions is based on three levels of difficulty: easy, medium and difficult questions. Easy options contain, for example, questions to test knowledge of the name of the components of the Arduino board, followed by questions to determine the knowledge of the function

and their capabilities, and complex questions, mainly with mathematical and physical calculations.

Further, the implementation of the third stage of the Kirkpatrick model took place on the basis of the teacher's assessment for three boundary controls of the academic semester. The maximum score that a student could receive abroad is 100%, that is, three milestone weeks make up 300%, where scores above 70 indicate good mastery of the material, and above 90 indicate excellent academic performance. According to statistics, about 25 thousand visually impaired citizens live in Kazakhstan, so it is very important to make it clear to students that there is such a problem and, most importantly, it can be eliminated.

5. Results. All respondents found the content of the course to be very simple and understandable. Moreover, 50.5% of the respondents rated this item on a five-point scale at 4 points, and the rest 49.5 percent at 5 (Fig. 1). That is, the students had practically no problems in mastering the course.



Figure 1 – Evaluation of comprehensibility and simplicity of the course

The following questions to assess the relevance and applicability of this course showed very good results, almost all respondents (98.9%) believe that the proposed course is relevant and the knowledge gained from the course can be used in production (Fig. 2).

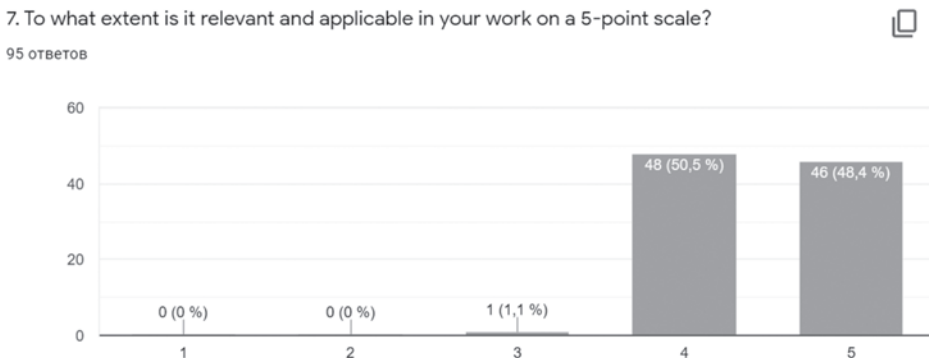


Figure 2 – Relevance and applicability of the course

The organization of training received a rating of four points from 22.1% of respondents, when 7.9 believe that this item deserves the highest rating (Fig. 3).

8. How well was the training organized and delivered?

95 ответов

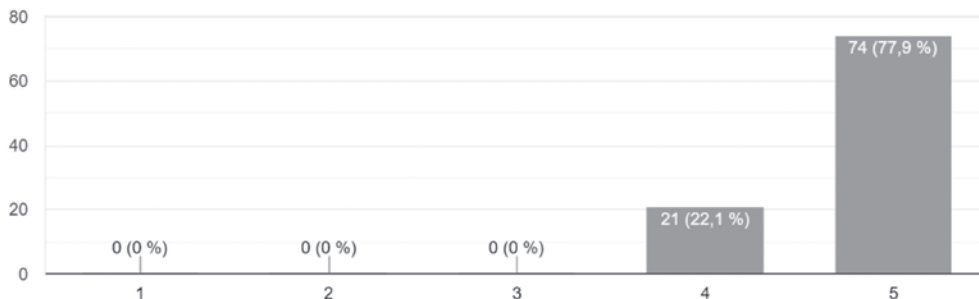


Figure 3 – Evaluation of course organization

Interesting suggestions were made by learners to improve the course content. More than 50 percent of students suggest adding more practice tasks, while 32 percent believe that no improvement is needed, the rest answered that they were satisfied with all the content (Fig.4).

9. What could be improved?



95 ответов

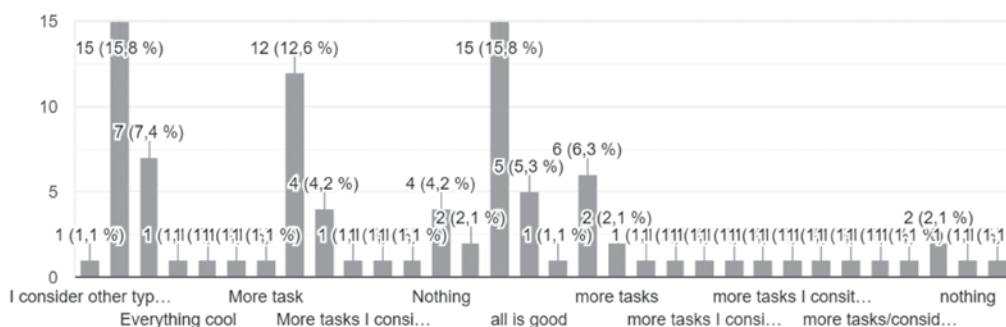


Figure 4 – Participants' proposals

Further, test questions were organized to assess the knowledge gained and progress in this kus. On average, students showed excellent results on test questions. More than 93.7 percent of those surveyed showed excellent results.

The assessment of the teacher and the assessment of the testing conducted, in principle, showed the same results. The error was only 3.17 points (Fig. 5).

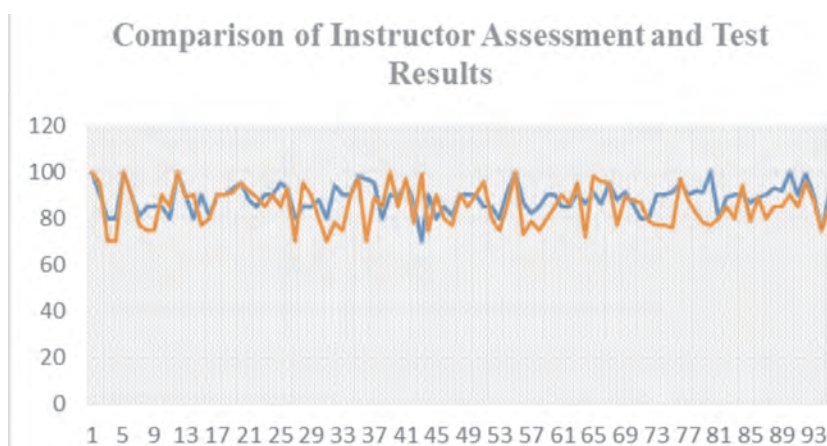


Figure 5 – Instructor evaluation

6. Conclusion. This article discusses one of the methodology for teaching students programming based on the use of Arduino microcontrollers. The work on the article was aimed at sharing the experience gained over several years of teaching students the basics of programming. In the practical part, it was interesting to observe the development of the material, the receipt and interpretation of the results that they received.

In general, this study is the beginning of further study of the process of teaching students using not only Arduino microcontrollers, but also other types. The results obtained showed that this type of integration had a good effect on student satisfaction, however, further intensive development of information technology requires the same progress from the educational process.

Understanding the principles of operation of microcontrollers is the basis for the effective professional activity of specialists in this area. The solution to this problem can be the use of the Arduino debug board in the process of teaching students of the specialty 5B071900 - Radio engineering, electronics and telecommunications, 6B06103 - Computer engineering, 5B070400 - Computer engineering and software programming microcontrollers.

REFERENCES

- 1 Kirkpatrick, Donald L., & Kirkpatrick, J. Davy (2007). Implementing the Four Levels, Berrett-Koehler Publishers.
- 2 Hammond, M. (2010). What is an affordance and can it help us understand the use of ICT in education? *Education and Information Technologies*, 15(3), 205–217.
- 3 Ilomäki, L., Paavola, S., Lakkala, M., & Kantosalo, A. (2016). Digital competence – an emergent boundary concept for policy and educational research. *Education and Information Technologies*, 21(3), 655–679. <https://doi.org/10.1007/s10639-014-9346-4>
- 4 Eric S., Elsa P., Lilia Ch., Ghada E. K., Bilal S., Ouajdi K. (2021). What do you mean by learning lab? *Education and Information Technologies*, <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10783-xäki>
- 5 Novák M., Kalová J. and Pech J., Use of the Arduino Platform in Teaching Programming. (2018). *IV International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*, 1-4, <https://doi.org/10.1109/Inforino.2018.8581788>

6 Trofimenko V. N. (2013). Software and hardware of developers of electronic equipment in the formation of a graduate's competence structure. *Socio-economic and technical and technological problems of the development of the service sector*. 12(2), 17-22.

7 Candelas F. A., García G. J., Puente S., Pomares J., Jara C. A., Pérez J., Mira D., Torres F. (2015) Experiences on using Arduino for laboratory experiments of Automatic Control and Robotics. *IFAC-PapersOnLine*. 48 (29), 105–110. [https://doi: 10.1016/j.ifacol.2015.11.221](https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.11.221)

8 Scaradozzi D., Sorbi L., Pedale A., Valzano M., Vergine C. (2015). Teaching Robotics at the Primary School: An Innovative Approach. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 174, 3838–3846. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.1122>.

9 El-Abd, M. (2017). A review of embedded systems education in the Arduino age: Lessons learned and future directions. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 7(2), 79-93. <https://doi.org/10.3991/ijep.v7i2.6845>

10 Sobota J., PiŚI R., Balda P., Schlegel M. (2013). Raspberry Pi and Arduino boards in control education. *IFAC Proceedings*. 46(17), 7–12. <https://doi.org/10.3182/20130828-3-UK-2039.00003>

11 Wong S. K., Aizan U., Mohd Zarar M. J. (2018). Cyclist Monitoring System using NI myRIO-1900. *MATEC Web of Conferences*, 01006 (2018), <https://doi.org/10.1051/mateconf/20185001006>

12 Galeriu C., Edwards S., Esper G. (2014). An Arduino investigation of simple harmonic motion. *Physics Teacher*, 52(3), 157-159. <https://doi/10.1119/1.4865518>

13 Satriya W., Ketut P. (2021). Design and manufacture of air quality measurements based on Arduino ATmega 2560 using dust ZH03A laser sensor. *International Journal of Physical Sciences and Engineering* <https://doi.org/10.29332/ijpse.v5n1.800>

14 Kalelioglu, F., Sentance, S. (2020). Teaching with physical computing in school: the case of the micro:bit. *Educ Inf Technol*, 25, 2577–2603. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10080-8>

15 Tianhong Pan – Yi Zhu. (2019). Designing Embedded Systems with Arduino - Springer Nature BVTi,

16 Cederqvist A-M. (2021). Designing and coding with BBC micro:bit to solve a real-world task – a challenging movement between contexts. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10865-w>

17 Arslan, K., Tanel, Z. (2021) Analyzing the effects of Arduino applications on students' opinions, attitude and self-efficacy in programming class. *Education and Information Technologies*, 26, 114–1163 <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10290-5>

18 Krelja Kurelovic E., Jasminka Tomljanovic, Mario Kralj. (2020). Students' Attitudes About Learning on Arduino Projects. *Proceedings of INTED 2020 Conferenc*, .125-129

19 Eunsang Lee A M. (2020). Analysis of the Effects of Arduino -Based Education in Korean Primary and Secondary Schools in Engineering. *Education European Journal of Educational Research*, 9(4), 1503 – 1512. doi: 10.12973/eu-jer.9.4.1503

20 Dhiman TK, Poddar M, Lakshmi GBVS, Kumar R, Solanki PR. (2021) Non-enzymatic and rapid detection of glucose on PVA-CuO thin film using Arduino UNO based capacitance measurement unit. *Biomed Microdevices*. 23(3). doi: 10.1007/s10544-021-00568-x. PMID: 34259948.

Н. Т. АЗИЕВА¹, Ж. О. ОРАЛБЕКОВА^{1*}, Б. Б. ШОЛПАНБАЕВ²

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан.

e-mail: *oralbekova@bk.ru

КӨЛ БӨГЕТІНІҢ ІШКІ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУДЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУ

Жұмыста бөгеттің ішкі құрылымын, ылғалдану аймағын анықтау арқылы болашақта төтенше жағдайларды алдын алу үшін Үлкен Алматы көлі бөгетіне жүргізілген геофизикалық зерттеу жұмыстары бойынша эксперименттік зерттеулер келтірілді. Зерттеу объектісі Үлкен Алматы көлінің бөгеті болып табылады. Есептің қойылымы бұзылмайтын, жылдам әдісті қолдануды қажет етеді, сонымен қатар әдіс экономикалық тұрғыдан тиімді болуы керек, объектіні визуалды бақылаудың қол жетімді әдістерімен салыстырғанда айтарлықтай шығындарды азайтуға мүмкіндік беруі тиіс. Сол себептен эксперименттік зерттеулер бөгеттің үстіңгі жағы мен етегінде жарты метрлік қадаммен, үш метрлік антенналарды қолдана отырып, георадар “Лоза Б” құралымен жүргізілді. Эксперименттік нәтижелерді өңдеу георадардың кіріктірілген бағдарламалық қамтамасыздандыруында жасалды. Зерттелетін объектінің белгілі бір бөліктері туралы қорытынды және одан әрі әрекет ету туралы ұсыныстар сипатталып берілді. Бұл жұмыстың нәтижелері радарограммаларды интерпретациялау технологиясын одан әрі дамытуға және эксперименталды зерттеулер мен ұқсас радарограммалардың мәліметтерінің нәтижелеріне салыстырмалы талдау жүргізуге мүмкіндік береді. Жұмыс Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің ректорының «Үлкен Алматы су қоймасының физикалық параметрлерін георадарлық зерттеулері және ртаның құрылымын компьютерлік модельдеу» жобасы аясында жүзеге асырылды.

Түйін сөздер: георадиолокация жүйесі, кіріктірілген бағдарламалық қамтамасыздандыру, георадар, радарограмма, радар суреттерін өңдеу, бұзбайтын әдіс, эксперименттік зерттеулер, интерпретация.

Н. Т. АЗИЕВА¹, Ж. О. ОРАЛБЕКОВА^{1*}, Б. Б. ШОЛПАНБАЕВ²

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан.

e-mail: *oralbekova@bk.ru

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВНУТРЕННЕГО СТРОЕНИЯ ПЛОТИНЫ ОЗЕРА

В работе приведены экспериментальные исследования по геофизическому исследованию дамбы Большого Алматинского озера. Объектом исследования выбрана дамба Большого Алматинского озера для предотвращения в будущем чрезвычайных ситуаций, для выявления внутренней структуры строения дамбы, зоны протечек и увлажнения. Постановка задачи требует применения быстрого и неразрушающего метода, при этом метод должен быть экономически целесообразен.

ным, точным и давать значительную экономию времени и средств по сравнению с доступными имеющимся методами визуального наблюдения объекта. Экспериментальные исследования проводились с помощью геофизического прибора «Георадар «Лоза Б» по подножью и по вершине дамбы с применением трехметровых антенн с шагом по профилю 0,5 м. Обработка экспериментальных результатов производилась во встроенном программном обеспечении геофизического прибора. Дано заключение об определенных участках дамбы Большого Алматинского озера и рекомендации о дальнейших действиях. Результаты данной работы позволят в дальнейшем выработать технологию интерпретации радарограмм и провести сравнительный анализ экспериментальных исследований и результатов данных аналогичных радарограмм. Работа выполнена в рамках проекта ректора Казахского национального педагогического университета имени Абая «Георадарные исследования физических параметров Большого Алматинского водохранилища и компьютерное моделирование структуры среды».

Ключевые слова: система георадиолокации, встроенное программное обеспечение, георадар, радарограмма, обработка радарных изображений, неразрушающий метод, экспериментальные исследования, интерпретация.

N. T. AZIYEVA, Z. O. ORALBEKOVA¹*, B. B. SHOLPANBAEV²

¹L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan;

²Abai Kazakh national pedagogical university, Almaty, Kazakhstan.

e-mail: oralbekova@bk.ru

APPLICATION OF THE GPR TECHNOLOGIES TO STUDY THE INTERNAL STRUCTURE OF THE LAKE DAM

The paper presents experimental studies on the geophysical study of the dam of the Big Almaty Lake. The object of the study was the dam of the Big Almaty Lake to prevent future emergencies, to identify the internal structure of the structure of the dam, the zone of leakage and moisture. The formulation of the problem requires the use of a fast and non-destructive method, in addition, the method must be economically feasible, accurate and provide significant savings in time and money compared to the available methods of visual observation of the object. Experimental studies were carried out using the geophysical instrument "Georadar "Loza B" along the foot and along the top of the dam using three-meter antennas with a step along the profile of 0.5 m. The experimental results were processed in the built-in software of the geophysical instrument. The conclusion is given on certain sections of the dam of the Big Almaty Lake and recommendations on further actions. The results of this work will allow us to further develop technology for interpreting radargrams and conduct a comparative analysis of experimental studies and the results of data from similar radarograms. The work was carried out within the framework of the project of the rector of Abai Kazakh National Pedagogical University "GPR studies of the physical parameters of the "Big Almaty" reservoir and computer modeling of the structure of the environment."

Key words: Ground-penetrating radar system, embedded software, georadar, radarogram, radar image processing, non-destructive method, experimental research, interpretation

Кіріспе. Гидротехникалық құрылыстар ағынды реттеу және аумақтарды суландыру көлемін сақтау қажет болған кезде стандартты түрде жобаланады. Гидротехникалық құрылыстар кешендерін құру мәселелерін қарастыру аумақтың су теңгерімінің өзгеруіне алып келеді. Зерттеудің жаңалығы ағынды суларды реттеудің сапалы жаңа бағдарламаларын қалыптастырудың алғышарты ретінде гидротехникалық құрылыстарды пайдалануға болатындығымен анықталады. Бұл

әсіресе сейсмологиялық тұрақты емес аудандар үшін қажет. Мүмкін болатын сейсмологиялық жүктемені ескеріп қана қоймай, сонымен қатар қолданыстағы гидротехникалық құрылыстарды жаңғырту үшін қолданылатын режимдер мен технологияларды ескере отырып, жобалау қажет екендігі анық.

Зерттеу нысаны Алматы қаласынан оңтүстікке қарай 15 шақырым жерде орналасқан Үлкен Алматы көлінің (ҮАК) бөгеті болып табылады [1]. ҮАК мақсаты энергетика, сумен жабдықтау және жерді жасанды суару су қоймасы болып табылады. Шығыңқы пішіні бар бөгет биіктігі шамамен 6 м., зерттелетін объектінің ұзындығы 250 м., ені 6 м. Бөгет Алматы қаласының кейбір елді мекендерін ауыз сумен қамтамасыз ететіндіктен, көл аумағына кіру жабық және қатаң қорғалған болып табылады.

Зерттеудің тәжірибелік маңыздылығы гидротехникалық кешендердің қалыптасуы су балансының сапасын жақсарту жүйесін құруға ғана емес, сонымен бірге пайдаланылатын технологиялардың қауіпсіздігін технологиялық қамтамасыз етуге мүмкіндік беретіндігімен анықталады.

Эксперименттік зерттеулер бөгет құрылысының ішкі құрылымын, ағу аймағын анықтау, сондай-ақ болашақта төтенше жағдайлардың алдын алу мақсатында георадар “Лоза Б” аспабын қолдану арқылы жүзеге асырылды. Жұмыстар Қазақстан Республикасы Ішкі істер министрлігі Алматы қаласы Төтенше жағдайлар департаментінің қызметкерлерімен бірлесіп жүргізілді.

Материалдар мен әдістер. Эксперименттік зерттеулер бейіні бойынша 0,5 м. қадаммен, биіктігі 3 м. антенналары бар бөгеттің етегінде “Лоза Б” георадарын қолдану арқылы жасалды [2-4]:

– бөгеттің етегінде 0,5 м. қадаммен екі бағытта жеке профильдермен бейінді тексерулер жүргізілді, кері бағытта бір антеннаны екінші антеннаның соңына байлап, антенналарды бір қатарға біріктіру әдісімен орындалды (1-сурет).

Түсірілім шығыс бағытта жүргізілді, 1-суретте қызыл көрсеткішпен және кері бағытта көк көрсеткішпен белгіленген. Профильдің ұзындығы шамамен 250 м.

— бөгеттің жоғарғы жағы бойынша 0,5 м. қадаммен екі бағытта жеке бейіндермен бейінді тексерулер жүргізілді (2-сурет). Профиль ұзындығы шамамен 250 м.



Сурет 1 – Үлкен Алматы көлінің бөгеті

Жасыл көрсеткішісі бар 2-суретте ортасында темір құбыры бар шаршы бетон, екі темір бағананың арасындағы қашықтық сары көрсеткішпен, бүйірінде жатқан бетон плитасы қызғылт көрсеткішпен белгіленген.

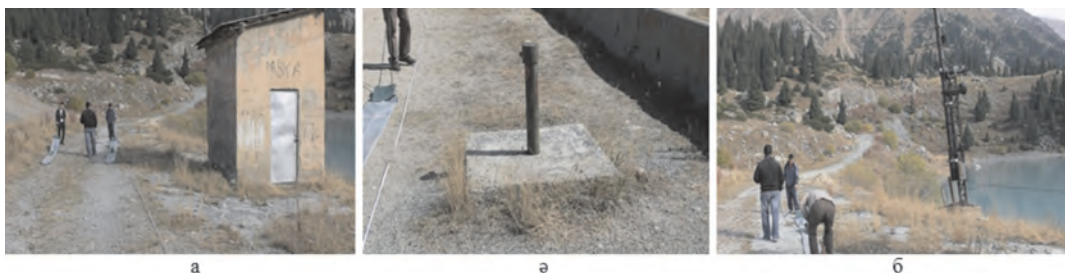


Сурет 2 – Бөгеттің жоғарғы жағы

Зерттеу аймағында сондай-ақ бірнеше беттік және жер асты нысандары бар, олардың көпшілігі 3-4 суреттерде бейнеленген.



Сурет 3 – Жер үсті және жер асты объектілері:
а) дөңгелек ұшы бар құбыр; ә) Н-көрнекті құбыр

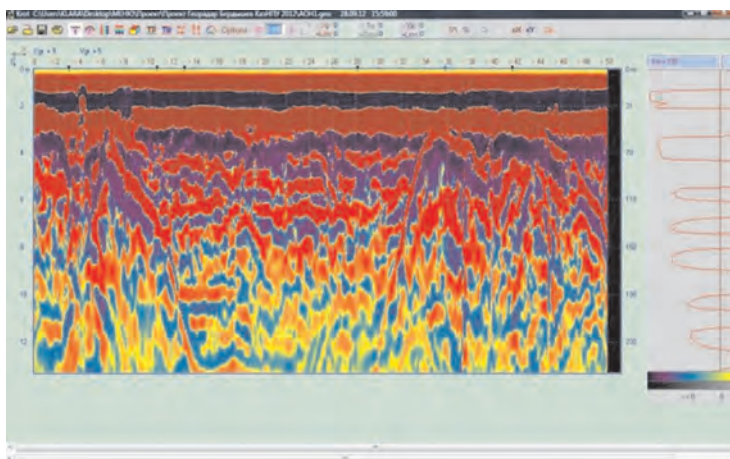


Сурет 4 – Жер үсті нысандары: а) үйшік; ә) ортасында темір құбыры бар шаршы бетон;
б) электр беру желісі бар баған

Нәтижелер мен оларды талқылау. Георадарлық түсірілімнің нәтижесі ретінде георадардың әр позициясында қабылдау антеннасы жазған жеке сигналдар жиынтығын аламыз [5]. Әдетте, бұл жолдар жиынтығының суреті радарограмма түрінде өзгермелі тығыздық әдісімен көрсетіледі. Эксперименттік нәтижелерді өңдеу “Krot179Ns” кіріктірілген бағдарламалық қамтамасыздандыруда жүргізілді, нәтижеде интерпретациялауға ыңғайлы радар суреттері алынды.

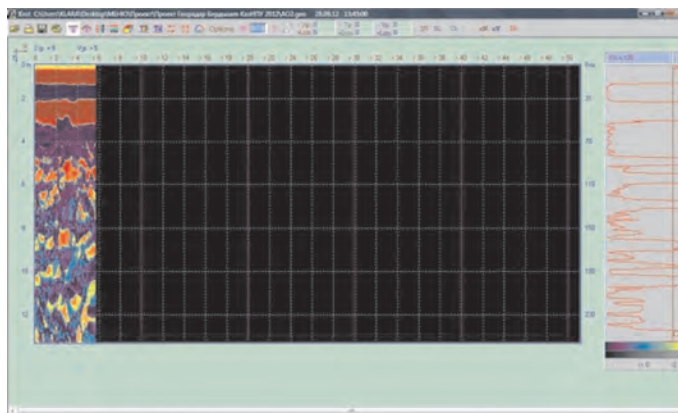
Эксперименттік зерттеулерді жүргізу және өңдеу кезінде осы аймақтың жер асты ортасының құрылымының қызықты фактілері табылды. Георадарлық зерттеу кезінде топографиялық объектіні әзірлеу және белгілеу белгілі бір қашықтық пен тереңдікте аномальды факторлары бар топырақтың құрылымын көрсетті.

Аномальды факторлары бар объектінің георадарлық эксперименттік зерттеулерінің деректері 5-7 суреттерде келтірілген. Төмендегі суреттерде абсцисса осі бойынша солдан оңға қарай сандар - профиль бойымен өлшенген метрдегі координатаны, оң жақтағы тік шкала - қабылдау антеннасының сигналын наносекундта тіркеу уақытын білдіреді [6, 7].



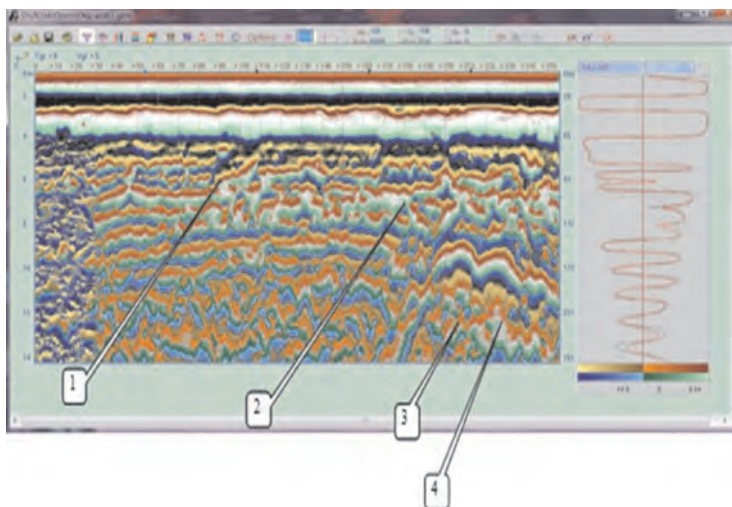
Сурет 5 – Аномальды факторлары бар топырақ құрылымының бөлімі

5-суретте 6-дан 10-ға дейін және 34-тен 46 метр арылығындағы қашықтықта аномальды факторлары бар топырақ құрылымының бөлімін анық байқауға болады.



Сурет 6 – Профильдеуден кейінгі аномальды факторлары бар топырақ құрылымы

Радарограммаларды интерпретациялау 250 метрге дейінгі қашықтықта диэлектрлік тұрақты $\epsilon = 9$ тең болған жағдайда жүргізілді (7-сурет).



Сурет 7 – $\epsilon = 9$ болғандағы топырақ құрылымы

7-суретте келесі белгілеулер: 1 - электр беру желісі бар баған; 2 - ортасында темір құбыры бар шаршы бетон; 3 - бүйірінде жатқан бетон плитасы; 4 - ортасында темір құбыры бар шаршы бетон.

Қорытынды. Төтенше жағдайларды алдын алу мақсатында Үлкен Алматы көлі бөгетінің геофизикалық түсірілімі бойынша эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Бөгеттің ішкі құрылымы, ағып кету аймағы (ылғалдану) анықталды. Эксперименттік нәтижелерді өңдеу георадардың кіріктірілген бағдарламалық қамтамасыздандыруында жүргізілді.

Жалпы, профильдің сыртқы түріне сүйене отырып (қабаттардың бағыты, объектілерден гипербола) бөгет 12-14 м. тереңдікке дейін құрғақ деп айтуға болады. Бөгет, егер ол терең жер астында ағып кетсе, онда қысым көп болады.

Келешекте радараграммаларды интерпретациялауға арналған өзіндік бағдарламалық қамтамасыздандыру құрылады.

Алғыс. Эксперименттік зерттеулер жүргізу барысында ҚР Ішкі істер министрлігі Алматы қаласы Төтенше жағдайлар департаментінің қызметкерлеріне, сондай-ақ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің профессоры Әбдімәулен Сүлейменұлы Бердішевке құнды кеңес бергендері үшін алғыс білдіреміз.

ӘДЕБИЕТ

- 1 https://ru.wikipedia.org/wiki/Большое_Алматинское_озеро
- 2 Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. М.: Издательство МГУ. 2004. 153 с.
- 3 Denivos R.R., Kapustin V.V. Processing of georadar data in automatic mode // Journal Geophysics. 2010. 4. pp. 76-80.

4 Özdemir C., Demirci Ş., Yiğit E., Yılmaz B. A review on migration methods in b-scan ground penetrating radar imaging // *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. art. no. 280738. DOI: 10.1155/2014/280738

5 Митин И.В., Русаков В.С. Анализ и обработка экспериментальных данных. М.: Физический факультет МГУ. 2012. 44 с.

6 Zhartybayeva, M., Oralbekova, Z., Iskakov, K. The interpretation of the radarograms on the basis of experimental data // *Acta Physica Polonica A*. 2015. v.128(2). pp. 467-468.

7 Iskakov K., Boranbayev S., Alimbayeva Z., Issin B. Experimental data of research using ground-penetrating radar Zond-12c and interpretation of georadarograms // *Acta Physica Polonica A*. 2016. 130 (1). pp. 322-324.

REFERENCES

1 https://ru.wikipedia.org/wiki/Большое_Алматинское_озеро

2 Vladov M.L., Starovoitov A.V. *Vvedenie v georadiolokaciyu*. М.: Izdatel'stvo MGU. 2004. 153 s.

3 Denivos R.R., Kapustin V.V. Processing of georadar data in automatic mode // *Journal Geophysics*. 2010. 4. pp. 76-80.

4 Özdemir C., Demirci Ş., Yiğit E., Yılmaz B. A review on migration methods in b-scan ground penetrating radar imaging // *Mathematical Problems in Engineering*. 2014. art. no. 280738. DOI: 10.1155/2014/280738

5 Mitin I.V., Rusakov V.S. *Analiz i obrabotka eksperimental'nyh dannyh*. М.: Fizicheskij fakul'tet MGU. 2012. 44 s.

6 Zhartybayeva, M., Oralbekova, Z., Iskakov, K. The interpretation of the radarograms on the basis of experimental data // *Acta Physica Polonica A*. 2015. v.128(2). pp. 467-468.

7 Iskakov K., Boranbayev S., Alimbayeva Z., Issin B. Experimental data of research using ground-penetrating radar Zond-12c and interpretation of georadarograms // *Acta Physica Polonica A*. 2016. 130 (1). pp. 322-324.

**Ж. Т. ЖУМАШЕВА, Б. О. АМАНОВ*, С. Ә. ТӨЛЕНОВ, Б. М. САГИТЖАНОВ,
Е. Н. ЖОЛДАСОВ, А. М. ТОЛЕУШОВА, Н. Қ. ДОСМАҒАМБЕТ, З. А. РАХМАТУЛЛА**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;
e-mail: zhadyra_14@mail.ru, *bekzat.amanov007@gmail.com, tolenov.serik@mail.ru,
beriksagitzhanov94@gmail.com, jera.kz@mail.ru, aida71193@mail.ru,
nurdauletDOSmagambet@gmail.com, rakhmatulla.zanggar@gmail.com*

АЛТЫ ЕРКІНДІК ДӘРЕЖЕСІ БАР ГУМАНОИД РОБОТТЫҢ ҚОЛЫНЫҢ КИНЕМАТИКАСЫ

Бұл мақалада гуманоид роботтың қолының тікелей және кері кинематикасы шешіледі. Бұл қашықтан басқарылатын элеуметтік робот. Робот манипуляторының кинематикасын зерттеу үшін Денавит-Хартенберг түрлендіру матрицалары алынды. Соңғы орындаушының (қолдың) орны осы матрицаларды көбейту арқылы анықталады. Робот манипуляторының кері кинематикасын зерттеу үшін байланыс бұрыштарын аналитикалық түрде анықтау үшін кері байланыс әдісі қолданылады.

Түйін сөздер: гуманоид, элеуметтік гуманоид, робот, Денавит-Хартенберг.

**Ж. Т. ЖУМАШЕВА, Б. О. АМАНОВ*, С. Ә. ТӨЛЕНОВ, Б. М. САГИТЖАНОВ,
Е. Н. ЖОЛДАСОВ, А. М. ТОЛЕУШОВА, Н. Қ. ДОСМАҒАМБЕТ, З. А. РАХМАТУЛЛА**

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: zhadyra_14@mail.ru, *bekzat.amanov007@gmail.com, tolenov.serik@mail.ru,
beriksagitzhanov94@gmail.com, jera.kz@mail.ru, aida71193@mail.ru,
nurdauletDOSmagambet@gmail.com, rakhmatulla.zanggar@gmail.com*

КИНЕМАТИКА РУКИ ГУМАНОИДНОГО РОБОТА С ШЕСТЬЮ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

В данной работе решается прямая и инверсная кинематика гуманоидного робота-манипулятора. Это дистанционно управляемый социальный робот. Для исследования кинематики робота-манипулятора были получены матрицы преобразования Денавита-Хартенберга. Положение последнего исполнителя (руки) определяется перемножением этих матриц. Для исследования инверсной кинематики робота-манипулятора используется метод обратной связи для аналитического определения контактных углов.

Ключевые слова: гуманоид, социальный гуманоид, робот, Денавит-Хартенберг.

**ZH. T. ZHUMASHEVA, B. O. AMANOV*, S. A. TOLENOV, B. M. SAGITZHANOV,
E. N. ZHOLDASSOV, A. M. TOLEUSHOVA, N. K. DOSMAGAMBET,
Z. A. RAHMATULLA**

*Al-Farabi Kazakh National University Almaty, Kazakhstan
e-mail: zhadyra_14@mail.ru, *bekzat.amanov007@gmail.com, tolenov.serik@mail.ru,
beriksagitzhanov94@gmail.com, jera.kz@mail.ru, aida71193@mail.ru,
nurdauletDOSmagambet@gmail.com, rakhmatulla.zanggar@gmail.com*

KINEMATICS OF A HUMANOID ROBOT ARM WITH SIX DEGREES OF FREEDOM

In this work, the direct and inverse kinematics of a humanoid robotic arm are solved. It is a remote controlled social robot. To study the kinematics of the robot-manipulator, the Den-with-Hartenberg transformation matrices were obtained. The position of the last performer (hand) is determined by multiplying these matrices. To study the inverse kinematics of the robotic arm, the feedback method is used to analytically determine the contact angles.

Key words: humanoid, social humanoid, robot, Denavit–Hartenberg.

Кіріспе. Өнеркәсіптік роботтар өндірістің көптеген салаларында бұрыннан қолданылады. 1990 жылдарда бастап өнеркәсіптік автоматтандыру міндеттерін қоспағанда, адамдар үшін пайдалы жұмыстарды орындайтын сервистік роботтарды әзірлеу басталды, мысалыға, тазалаушы роботтар, гид роботтар, кеңесші роботтар. Мәселен, көмекші роботтар, серіктес роботтар, оңалту роботтар секілді сервистік роботтардың дамуы өз кезегінде адамдармен әлеуметтік қарым-қатынас жасауға қабілетті әлеуметтік роботтардың пайда болуына әкелді [1-9]. Көмекші роботтар негізгі функцияларды орындаумен қатар, көмек көрсету үшін адаммен әлеуметтік өзара әрекеттесуді жүзеге асырады. Мысалы, "i-robot" компаниясының адам тәрізді "AVA" роботы [10] үйді тазалаудан басқа, иесінің денсаулығы туралы ақпарат жинайды және бұл деректерді емдеуші дәрігерге жөнелтіп отырады, Asian Forum for Corrections group робот бақылаушысын [11], қоспағанда сотталғандарды бақылауды, тұтқындар мен бақылаушылар арасындағы делдалдықты орындайды, адам тәрізді Октавия гуманоид роботы [12] өрт сөндіру кезінде өрт сөндірушілермен өзара әрекеттеседі, Robonaut 2 роботы [13] ғарышкерлермен өзара әрекеттесу арқылы NASA халықаралық ғарыш станциясында жұмыс істейді. Оңалту роботтары қарым-қатынас арқылы адамдардың, әсіресе қарттардың психикалық денсаулығын бақылайды, сонымен қатар мүгедектерді қоғамдық өмірге (жұмыс, оқу, қарым-қатынас) бейімдейді. Раго итбалық роботы [14] кеңінен танымал, ол адамдар мен қоршаған ортаны сезініп, оны еркелеткенде сәйкесінше қуаныш эмоциясын көрсетеді. Бұл егде жастағы адамдар мен аурухана пациенттерінде тыныштандыратын әсер мен жағымды эмоциялар тудырады.

Халықаралық еңбек ұйымының мәліметі бойынша, біздің жер шарында 650 миллионға жуық адам мүгедектер қатарында. Кейбір елдерде мүмкіндігі шектеулі адамдардың 80%-ы жұмыссыз. Бұл үлкен мәселе, өйткені адамдардың бұл санаты әлеуметтік өмірден тым алшақта. Бұл мәселені шешудің бір бағыты-қашықтықтан басқарылатын әлеуметтік роботтар арқылы мүгедектерді жұмысқа және қоғамдық өмірге тарту. Мұндай әлеуметтік роботтарды үйде мүмкіндігі шектеулі жандар операторлармен қашықтан басқару арқылы, оларды жұмысқа және қоғамдық өмірге тартады, ал екінші жағынан роботтардың құнын төмендетеді. Офлайн режимде жұмыс істейтін автономды роботтардың шығындарының негізгі бөлігі олардың басқару жүйелерінде болатыны белгілі.

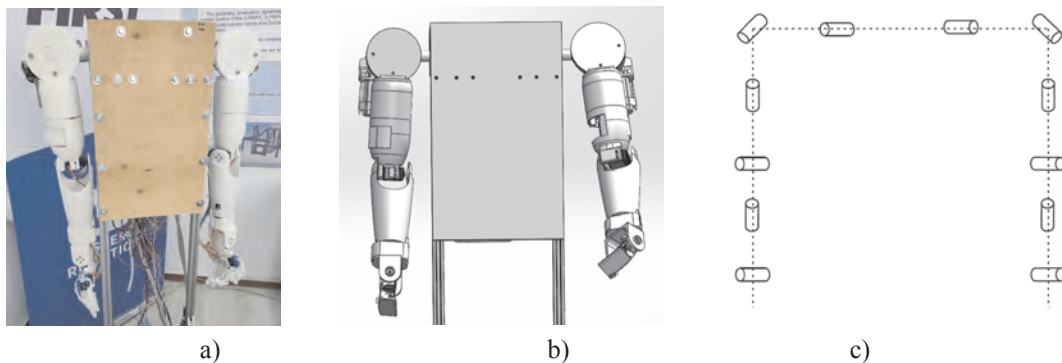
Әлеуметтік робот-мүмкіндігі шектеулі жандарды жұмыспен қамту, сондай-ақ байланыссыз медициналық және басқа да қызметтерді ұсыну үшін пайдаланылатын қашықтан басқарылатын әлеуметтік гуманоидты робот [15]. Бұл жұмыста робот қолының кинематикасының тікелей және кері мәселелері шешіледі.

Тікелей кинематикасы. 1-суретте әлеуметтік гуманоид роботтың дизайны,

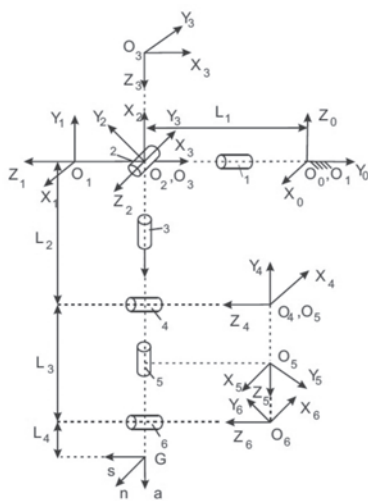
кинематикалық схемасы және де 3D CAD модельдерінің жалпы көрінісі көрсетілген. Әлеуметтік роботтың 20 еркіндік дәрежесі бар [16], оның ішінде басында 2 еркіндік дәрежесі, денесінде 3 еркіндік дәрежесі, қозғалыс механизмінде 3 еркіндік дәрежесі және әр қолы 6 еркіндік дәрежесіне ие. Әрбір 6 еркіндік дәрежесі бар қолдың иық буынында 2 еркіндік дәрежесі, шынтақ буынында 2 еркіндік және білезік буынында 2 еркіндік дәрежесі бар. 2-суретте координаталық жақтаулары бар роботтың оң қолының кинематикалық схемасы көрсетілген.

Координаттар жүйелері келесідей белгіленеді. $O_{B_1} X_{B_1} Y_{B_1} Z_{B_1}$ координаттар жүйесі, мойынның ортасына орналасқан және сілтеме жүйе ретінде қолданылады.

Денавит–Хартенберг (D-H) [17] тәсілі бойынша $X_i Y_i Z_i$ координаттар жүйесінің Z_i осі ($i = 1, 2, \dots, 6$) топсалы қосылыстардың айналу осьтері бойымен бағытталған, X_i осьтері көршілес айналмалы қосылыстардың айналу осьтері арасындағы жалпы нормалар бойымен бағытталған. D-H параметрлері екі іргелес координаттар жүйесі арасындағы кеңістіктік байланысты анықтайтын төрт айнымалының жиынтығы. Бұл айнымалылар d_i (Z_i осі бойымен жылжу), θ_i (Z_i осі бойынша айналу), α_i (X_i осі бойынша жылжу) және α_i (X_i осі бойынша айналу). 1-кестеде әлеуметтік роботтың оң қолының D-H параметрлері келтірілген.



1-сурет – Гуманоид роботтың 3D CAD модельдері.



2-сурет – Оң қолдың кинематикалық схемасы.

Көршілес i және $i-1$ координаттар жүйелерінің орналасуы келесі біртекті түрлендіру матрицасымен сипатталады [17]:

$${}^{i-1}\mathbf{A}_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -c\alpha_i \cdot s\theta_i & s\alpha_i \cdot s\theta_i & \alpha_i \cdot c\theta_i \\ s\theta_i & c\alpha_i \cdot c\theta_i & -s\alpha_i \cdot c\theta_i & \alpha_i \cdot s\theta_i \\ 0 & s\alpha_i & c\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}_{i-1} & \mathbf{p}_{i-1} \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} \end{bmatrix},$$

(1) мұнда келесі қысқартулар қолданылады: $c\theta_i = \cos\theta_i$, $s\theta_i = \sin\theta_i$, $c\alpha_i = \cos\alpha_i$, $s\alpha_i = \sin\alpha_i$, \mathbf{R}_{i-1} айналу матрицасы, позиция векторы 1-кестеде оң қолдың D-Н параметрлері көрсетілген. D-Н параметрлерін 1-кестеден түрлендіру матрицасына (1) ауыстыру арқылы біз алты матрица аламыз ${}^0\mathbf{A}_1$, ${}^1\mathbf{A}_2$, ${}^2\mathbf{A}_3$, ${}^3\mathbf{A}_4$, ${}^4\mathbf{A}_5$, ${}^5\mathbf{A}_6$.

1-кесте – Оң қолға арналған D-Н параметрлері.

| i | θ_i | α_i | a_i | d_i |
|-----|------------------|------------|-------|--------|
| 1 | $-90 + \theta_1$ | 90 | 0 | 0 |
| 2 | $\theta_2 + 90$ | -90 | 0 | 0 |
| 3 | $\theta_3 + 90$ | 90 | 0 | $-L_2$ |
| 4 | θ_4 | 90 | 0 | 0 |
| 5 | θ_5 | 90 | 0 | L_3 |
| 6 | $90 + \theta_6$ | 0 | L_4 | 0 |

Гуманоид роботтың тікелей кинематикасында берілген алты θ_i бұрышы бойынша $O_{B_1} X_{B_1} Y_{B_1} Z_{B_1}$ жүйесінде қолдың жұмыс мүшесінің орны анықталады. Мұны істеу үшін біз келесі матрицалық теңдеуді шығарамыз:

$$\mathbf{A}_6 = \prod_{i=1}^6 {}^{i-1}\mathbf{A}_i = {}^0\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_6 = \begin{bmatrix} \mathbf{x}_6 & \mathbf{y}_6 & \mathbf{z}_6 & \mathbf{p}_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} & \mathbf{s} & \mathbf{a} & \mathbf{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

мұндағы \mathbf{x}_6 , \mathbf{y}_6 және \mathbf{z}_6 қол жақтауының негізгі осьтері бойындағы бірлік векторлар, ал \mathbf{p}_6 - қолдың иыққа қатысты орналасуын сипаттайтын позиция векторы. Бұл үш бірыңғай векторлар, қолдың бағдарын базалық $O_{B_1} X_{B_1} Y_{B_1} Z_{B_1}$ қатысты координаталар жүйесінде сипаттайды. \mathbf{n} , \mathbf{s} , \mathbf{a} және \mathbf{p} векторлары сәйкесінше қалыпты вектор, сырғанау векторы, жақындау векторы және позиция векторы болып табылады [18]:

$${}^0\mathbf{A}_6 = {}^0\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_6 = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & p_x \\ n_y & s_y & a_y & p_y \\ n_z & s_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Кері кинематика есебі. Кері кинематика есебінде қолдың жұмыс мүшесінің берілген орнына байланысты алты θ_i бұрыштарын анықтау керек. Манипулятордың

кері кинематикасын шешуде, егер үш қатарлы топса остері бір-біріне параллель болса немесе бір нүктеде қиылысатын болса, жабық пішінді шешімі бар деп саналады [19,20]. Әлеуметтік роботтың иықтарында айналмалы үш ось бір нүктеде қиылысады, сондықтан оның жабық форма түрінде кинематикалық шешімі бар.

Пипер [21] білек координаталар жүйесінің \mathbf{p} позициясының векторы, егер соңғы үш буын бір нүктеде қиылысатын болса, орналасу және бағдарлау ішкі жүйелеріне бөлінетінін көрсетеді. Қосылыстың соңғы үш бұрышы $[\mathbf{n}, \mathbf{s}, \mathbf{a}]$ арқылы анықталады. Осыны қолдана отырып, қолды қарама-қарсы бағытта қарастырсақ соңғы үш буын иықты құрайды. Бұл жаңа позиция векторы \mathbf{p}' тек θ_4, θ_5 және θ_6 бұрыштарының функциясы болып табылады. (2) теңдеудің кері әдісін жазамыз:

$${}^0\mathbf{A}_6^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{n} & \mathbf{s} & \mathbf{a} & \mathbf{p} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \mathbf{n}' & \mathbf{s}' & \mathbf{a}' & \mathbf{p}' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^6\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 = {}^6\mathbf{A}_0, \quad (4)$$

${}^{i-1}\mathbf{A}_i$ кері матрицаларын қолдана отырып, (4) теңдеуді келесідей жазуға болады:

$$\begin{bmatrix} n'_x & s'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & s'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & s'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^6\mathbf{A}_0 = {}^6\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 \quad (5)$$

(4) теңдеудің екі жағын ${}^5\mathbf{A}_6$ матрицасына көбейту арқылы соңғы үш бұрышты есептеу үшін кері түрлендіру әдісін қолдана аламыз:

$${}^5\mathbf{A}_6 \cdot {}^0\mathbf{A}_6^{-1} = {}^5\mathbf{A}_6 \cdot {}^6\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0. \quad (6)$$

Немесе

$${}^5\mathbf{A}_6 \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{n}' & \mathbf{s}' & \mathbf{a}' & \mathbf{p}' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = {}^5\mathbf{A}_0. \quad (7)$$

(7) теңдеудің сол жағы

$$\mathbf{A}^{LHS} = {}^5\mathbf{A}_6 \cdot \begin{bmatrix} \mathbf{n}' & \mathbf{s}' & \mathbf{a}' & \mathbf{p}' \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_6 & -S_6 & 0 & L_4 C_6 \\ S_6 & C_6 & 0 & L_4 S_6 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n'_x & s'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & s'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & s'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

(7) теңдеудің оң жағы

$$\mathbf{A}^{RHS} = {}^5\mathbf{A}_0 = {}^5\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_3 \cdot {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} a_{511} & a_{512} & a_{513} & a_{514} \\ a_{521} & a_{522} & a_{523} & a_{524} \\ a_{531} & a_{532} & a_{533} & a_{534} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

(8) және (9) теңдеулердің соңғы бағандарын теңестіру арқылы соңғы үш бұрышты анықтай аламыз

$$\theta_4 = \text{atan2}(\pm\sqrt{1-C_4^2}, C_4), \quad (10)$$

$$\theta_5 = \operatorname{atan}2(S_5, \pm\sqrt{1-S_5}) . \quad (11)$$

$$\theta_6 = \operatorname{atan}2(-C_4L_2 - L_3, S_4C_3L_2) - \psi . \quad (12)$$

мұндағы

$$C_4 = \frac{(p'_x + L_4)^2 + (p'_y)^2 + (p'_z)^2 - L_2^2 - L_3^2}{2L_2L_3} , \quad (13)$$

$$S_5 = \frac{p'_x}{S_4L_2} = \pm \frac{p'_x}{\sqrt{1-C_4^2}L_2} , \quad (14)$$

$$\psi = \operatorname{atan}2(p'_y, p'_x + L_4) , \quad (15)$$

θ_1 , θ_2 және θ_3 бұрыштарын шешу үшін (5) теңдеудің екі бөлігін де ${}^3\mathbf{A}_4$, ${}^4\mathbf{A}_5$, ${}^5\mathbf{A}_6$ матрицаларына көбейтеміз. Бұл теңдеудің сол жағы тең болатын теңдеуге әкеледі:

$$\mathbf{A}^{LHS} = {}^3\mathbf{A}_4 \cdot {}^4\mathbf{A}_5 \cdot {}^5\mathbf{A}_6 \cdot \begin{bmatrix} n'_x & s'_x & a'_x & p'_x \\ n'_y & s'_y & a'_y & p'_y \\ n'_z & s'_z & a'_z & p'_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{411} & a_{412} & a_{413} & a_{414} \\ a_{421} & a_{422} & a_{423} & a_{424} \\ a_{431} & a_{432} & a_{433} & a_{434} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} , \quad (16)$$

ал теңдеудің оң жағы:

$$\mathbf{A}^{RHS} = {}^3\mathbf{A}_2 \cdot {}^2\mathbf{A}_1 \cdot {}^1\mathbf{A}_0 = {}^3\mathbf{A}_0 = \begin{bmatrix} C_1C_2C_3 - S_1S_3 & C_1S_3 + C_2S_3S & C_3S_2 & 0 \\ -C_1S_2 & -S_1S_2 & C_2 & L_2 \\ C_3S_1 + C_1C_2S_3 & C_2S_1S_3 - C_1C_3 & S_2S_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

(16) және (17) теңдеулерінен (2,3) элементін теңестіру арқылы біз θ_2 бұрышын анықтаймыз:

$$C_2 = a'_x(S_4C_5C_6 - C_4S_6) - a'_y(C_4C_6 + S_4C_5S_6) + a'_zS_4S_5 , \quad (18)$$

$$\theta_2 = \operatorname{atan}2(\pm\sqrt{1-C_2^2}, C_2) . \quad (19)$$

Сол және оң жақтағы матрицалардың (1,3) және (3,3) элементтерін салыстыру арқылы θ_3 бұрышын анықтаймыз:

$$\frac{S_3}{C_3} = \frac{a''_xS_5C_6 - a''_yS_5C_6 - a''_zC_5}{a''_x(S_4S_6 + C_4C_5C_6) + a''_y(S_4C_6 - C_4C_5S_6) + a''_zC_4S_5} , \quad (20)$$

$$\theta_3 = \operatorname{atan}2(g_{433}, g_{431}) . \quad (21)$$

Сол және оң жақтағы матрицалардың (2,1) және (2,2) элементтерін салыстыру арқылы біз θ_1 бұрышын анықтаймыз

$$\frac{-S_1}{-C_1} = \frac{s'_x(S_4C_5C_6 - C_4S_6) - s'_y(C_4C_6 + S_4C_5S_6) + s'_zS_4S_5}{n'_x(S_4C_5C_6 - C_4S_6) - n'_y(C_4C_6 + S_4C_5S_6) + n'_zS_4S_5}, \quad (22)$$

$$\theta_1 = \text{atan2}(-g_{422}, -g_{412}). \quad (23)$$

Қорытынды. Әлеуметтік гуманоид роботтың қолының кинематикасының тікелей және кері есептерінің шешу әдістері жасалды. Бұл робот қашықтан басқарылады және байланыссыз медициналық және басқа қызметтерді орындау үшін қолданылады. Роботтың әр қолының алты еркіндік дәрежесі бар. D-H әдісі негізінде іргелес кинематикалық жұптардың түрлендіру матрицалары шығарылды. Тікелей кинематика D-H матрицаларын көбейту арқылы шешіледі. Кинематиканың кері есебін шешу үшін кері байланыс әдісі қолданылады. Бұл жағдайда соңғы үш буынның айналу осьтері бір нүктеде қиылысады және кинематиканың кері мәселесін шешу аналитикалық жабық түрде жүзеге асырылады.

Растау: Бұл зерттеу жұмысы Қазақстан Республикасы Ғылым және Жоғарғы Білім министрлігінің Ғылым комитетінің гранты (Грант No AP14872115) бойынша орындалды.

ӘДЕБИЕТ

1 Hegel F., et. al. Understanding Social Robots. Second International Conference on Advances in Computer – Human Interactions, IEEE, pp.169-174 (2009).

2 Duffy B.R., Rooney C, O’Hare G.M, O’Donoghue R. What is a Social Robot? 10 th Irish Conference on Artificial Intelligence amp; Cognitive Science, University College Cork, Irland, 1-3 September, pp. 96-118 (1999).

3 Young J.E, et. al. Evaluating Human – Robot Interacting, International Journal of Social Robots, Vol. 3, No. 1, pp. 53-67 (2011).

4 Breazeal C. Social Interactions in HRI: The Robot View Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews, 34, No. 2, pp. 143-166.

5 Fong I, Nourbakhsh I., Dautenkahn K.A Survey of Socially Interactive Robots. Robotics and Automation Systems, Vol.42, No. 3, pp-143-166 (2003).

6 Brazeal C. Toward Sociable Robots. Robotics and Automation Systems, Vol. 42, No. 3, pp-167-175.

7 De Graaf M.M.A., Alltouch S.B., van Dijk J. What Makes Robot Social? A User’s Perspective on Characteristics for Social Human – Robot Interaction. Social Robotics. Springer, pp. 184-193 (2015).

8 Engelhardt K.G., Edwards R.A. Humanrobot Integration for Service Robotics. Human- Robot Interaction. London, pp. 315-346 (1992).

9 Yang S. et. al. Experiences Developing Socially Acceptable Interactions for a Robotic Trash Barrel. Robot and Human Interactive Communication (ROMAN), 24-th IEEE International Symposium, pp. 277-284 (2015).

10 AVA Overview Irobot, <http://www.irobot.com/ava>.

11 Bloss R. Robots Go to Prison – as Guards. An International Journal Industrial Robots. Vol. 39, pp. 148-158 (2012).

12 Martinson E. et. al. Fighting Fires with Human Robot Teams. IEEE / RSJ International Conference on Intelligent. Robots and Systems, pp. 2682 – 2683 (2012).

13 Diftler M.A., et. al. Robonaut2 – The First Humanoid Robot in Space. Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference, pp 2178-2183 (2011).

14 Sabanovis S., et. al. Paro Robot Affects Divers Interaction Modalities in Group Sensory Therapy For Older Adult with Dementia. Rehabilitation Robotics (ICORR), IEEE International Conference, pp. 1-6 (2013).

15 Zhumadil Baigunchekov, Zhadyra Zhumasheva, Bekzat Amanov, Ernar Zholdasov, Berik Sagitzhanov, Alibek Tleukhanov. Robotic System for Employment of People with Disabilities. Int. Journal “Advances in Robotics & Mechanical Engineering” (2020).

16 Zhumadil Baigunchekov, Patel Sarosh, et al. Social Humanoid robot “Ai-Gerim”. Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Control Automation and Robotics. April 23-26, 2021, Singapore (ICCAR 2021).

17 J. Denavit and R.S. Hartenberg. A Kinematic Notation for Lower -Pair Mechanisms Based on Matrices. Trans ASME j. April. Mech.23, pp. 215-221 (1955).

18 K.S. Fu, R.S. Gonzalez, C.S.G. Lee. Robotics: Control, Sensing, Vision and intelligence. McGraw-Hill Book company, (1988).

19 Hyungju Andy Park, Muhammad Ahmad Ali and C.S. George Lee. Closed -Form Inverse Kinematic Position Solution for Humanoid Robots. Int. journal of Humanoid Robotics. Vol.9, No.3 1250022 (28 pages) (2012).

20 Fabrice Inverse Kinematics for a Humanoid Robot : a Mix Between Closed Form and Geometric Solutions. Technical Report, May 2017.

REFERENCES

1 Hegel F., et. al. Understanding Social Robots. Second International Conference on Advances in Computer – Human Interactions, IEEE, pp.169-174 (2009).

2 Duffy B.R., Rooney C, O’Hare G.M, O’Donoghe R. What is a Social Robot? 10 th Irish Conference on Artificial Intelligence amp; Cognitive Science, University College Cork, Irland, 1-3 September, pp. 96-118 (1999).

3 Young J.E, et. al. Evaluating Human – Robot Interacting, International Journal of Social Robots, Vol. 3, No. 1, pp. 53-67 (2011).

4 Breazeal C. Social Interactions in HRI: The Robot View Systems, Man, and Cybernetics. Part C: Applications and Reviews, 34, No. 2, pp. 143-166.

5 Fong I, Nourbakhsh I., Dautenkahn K.A Survey of Socially Interactive Robots. Robotics and Automation Systems, Vol.42, No. 3, pp-143-166 (2003).

6 Brazeal C. Toward Sociable Robots. Robotics and Automation Systems, Vol. 42, No. 3, pp-167-175.

7 De Graaf M.M.A., Alltouch S.B., van Dijk J. What Makes Robot Social? A User’s Perspective on Characteristics for Social Human – Robot Interaction. Social Robotics. Springer, pp. 184-193 (2015).

8 Engelhardt K.G., Edwards R.A. Humanrobot Integration for Service Robotics. Human- Robot Interaction. London, pp. 315-346 (1992).

9 Yang S. et. al. Experiences Developing Socially Acceptable Interactions for a Robotic Trash Barrel. Robot and Human Interactive Communication (ROMAN), 24-th IEEE International Symposium, pp. 277-284 (2015).

10 AVA Overview Irobot, <http://www.irobot.com/ava>.

11 Bloss R. Robots Go to Prison – as Guards. An International Journal Industrial Robots. Vol. 39, pp. 148-158 (2012).

12 Martinson E. et. al. Fighting Fires with Human Robot Teams. IEEE / RSJ International Conference on Intelligent. Robots and Systems, pp. 2682 – 2683 (2012).

13 Diftler M.A, et. al. Robonaut2 – The First Humanoid Robot in Space. Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference, pp 2178-2183 (2011).

14 Sabanovis S., et. al. Paro Robot Affects Diverse Interaction Modalities in Group Sensory Therapy For Older Adult with Dementia. Rehabilitation Robotics (ICORR), IEEE International Conference, pp. 1-6 (2013).

15 Zhumadil Baigunchekov, Zhadyra Zhumasheva, Bekzat Amanov, Ernar Zholdasov, Berik Sagitzhanov, Alibek Tleukhanov. Robotic System for Employment of People with Disabilities. Int. Journal “Advances in Robotics & Mechanical Engineering” (2020).

16 Zhumadil Baigunchekov, Patel Sarosh, et al. Social Humanoid robot “Ai-Gerim”. Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Control Automation and Robotics. April 23-26, 2021, Singapore (ICCAR 2021).

17 J. Denavit and R.S. Hartenberg. A Kinematic Notation for Lower -Pair Mechanisms Based on Matrices. Trans ASME j. April. Mech.23, pp. 215-221 (1955).

18 K.S. Fu, R.S. Gonzalez, C.S.G. Lee. Robotics: Control, Sensing, Vision and intelligence. McGraw-Hill Book company, (1988).

19 Hyungju Andy Park, Muhammad Ahmad Ali and C.S. George Lee. Closed -Form Inverse Kinematic Position Solution for Humanoid Robots. Int. journal of Humanoid Robotics. Vol.9, No.3 1250022 (28 pages) (2012).

20 Fabrice Inverse Kinematics for a Humanoid Robot : a Mix Between Closed Form and Geometric Solutions. Technical Report, May 2017.

Р. Т. АМАНОВА*, Н. Т. КАРЫМСАКОВА, С. Б. АБДРЕШОВА

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан
e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com*

ПРОГРЕСС В ОБЛАСТИ IoT- УПРАВЛЯЕМЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ IoT-МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ИРРИГАЦИИ МИНИ-ТЕПЛИЦ

В период быстрого городского развития и поиска способов повышения эффективности сельского хозяйства возникает вопрос о применении инновационных технологий в аграрной отрасли. В данном исследовании анализируется прогресс в использовании роботизированных манипуляторов, управляемых через системы IoT, для точечного орошения и мониторинга в городских теплицах. В работе подробно рассмотрены ключевые аспекты внедрения современных технологических решений, включая использование GPS и методов искусственного интеллекта, для контроля влажности почвы, автоматизации полива и эффективной борьбы с сорняками. Особое внимание уделяется потенциалу IoT в контексте удаленного контроля и управления агротехническими процессами в теплицах, что способствует улучшению методов рационального использования воды и увеличению урожайности, при одновременном сокращении необходимости в ручном труде.

Результаты исследования показывают, что интеграция датчиков и роботизированных систем обеспечивает более эффективное управление агротехническими процессами, создаёт оптимальные условия для развития растений и способствует более рациональному использованию природных ресурсов, что в свою очередь способствует экологической устойчивости сельского хозяйства. В данном обзоре отмечается огромный потенциал технологии интернета вещей (IoT) и робототехники для трансформации городского и сельского хозяйства. Эти технологии являются важным фактором повышения производительности, устойчивости и экономической эффективности в данной области, а также достижения целей устойчивого развития.

Ключевые слова: *робототехника, точечное орошение, умное сельское хозяйство, Интернет вещей, робот поливальщик, искусственный интеллект.*

Р. Т. АМАНОВА*, Н. Т. КАРЫМСАКОВА, С. Б. АБДРЕШОВА

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,
Алматы, Қазақстан
e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com*

IoT БАСҚАРА АЛАТЫН РОБОТТАР САЛАСЫНДАҒЫ ПРОГРЕСС ЖӘНЕ ШАҒЫН ЖЫЛЫЖАЙЛАРДЫ СУАРУ ҮШІН IoT МАНИПУЛЯТОРЫН ЖОБАЛАУ

Қаланың қарқынды дамуы және ауыл шаруашылығының тиімділігін арттыру жолдарын іздеу кезеңінде, аграрлық салада инновациялық технологияларды қолдану туралы мәселе туындайды. Бұл зерттеу, қалалық жылыжайларда нүктелік суару және бақылау үшін IoT жүйелері арқылы басқарылатын роботтық манипуляторларды пайдалану барысын талдайды. Жұмыста топырақтың ылғалдылығын бақылау, суаруды автоматтандыру және арамшөптермен

тиімді күресу үшін GPS және жасанды интеллект әдістерін қолдануды қоса алғанда, заманауи технологиялық шешімдерді енгізудің негізгі аспектілері егжей-тегжейлі қарастырылған. Жылыжайлардағы агротехникалық процестерді қашықтан бақылау және басқару контекстінде IoT мүмкіндіктеріне ерекше назар аударылады, бұл қол еңбегіне деген қажеттілікті азайта отырып, су ресурстарын пайдалануды оңтайландыруға және өнімділікті арттыруға ықпал етеді.

Зерттеу нәтижелері сенсорлар мен роботтық жүйелердің интеграциясы агротехникалық процестерді тиімдірек басқаруды қамтамасыз ететінін, өсімдіктердің өсуіне оңтайлы жағдай жасайтынын және табиғи ресурстарды ұтымды пайдалануға ықпал ететінін көрсетеді. Бұл өз кезегінде ауыл шаруашылығының экологиялық тұрақтылығына ықпал етеді. Бұл шолуда қалалық және ауыл шаруашылығын трансформациялау үшін заттар интернеті (IoT) технологиялары мен робототехниканың орасан зор әлеуеті атап өтілген. Бұл технологиялар осы саладағы өнімділікті, тұрақтылықты және экономикалық тиімділікті арттырудың, сондай-ақ орнықты даму мақсаттарына қол жеткізудің маңызды факторы болып табылады.

Түйін сөздер: робототехника, нүктелік суару, ақылды ауыл шаруашылығы, Заттар интернеті, робот суарушы, жасанды интеллект.

R. T. AMANOVA*, N. T. KARYMSAKOVA, S. B. ABDRESHOVA

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: amanovaraikhan8@gmail.com*

PROGRESS IN IoT-Controlled ROBOT MANIPULATORS AND IoT MANIPULATOR DESIGN FOR IRRIGATION OF MINI GREENHOUSES

With urbanization and the drive to improve the efficiency of agricultural production, the use of innovative technologies in the agricultural sector is becoming increasingly relevant. This article analyzes the progress in the application of IoT-controlled robotic arms for precision irrigation and monitoring in urban greenhouses. The article discusses key aspects of using modern technologies, including GPS and artificial intelligence techniques, to monitor soil moisture, automate irrigation, and control weeds. Particular attention is paid to the potential of IoT to remotely monitor and control greenhouse processes, which can optimize water consumption and increase crop yields while reducing reliance on manual labor.

The study shows that the integration of sensors and robotic systems facilitates efficient management of agronomic processes, ensuring optimal conditions for plant growth. Automation of irrigation based on real soil and environmental data leads to rational use of resources and increased environmental sustainability of agricultural production.

In conclusion, the paper highlights the significant potential of IoT and robotics in transforming urban agriculture, contributing to increased productivity, sustainability, and economic efficiency. The results of the study can be used to develop new management approaches in urban agricultural systems and contribute to the achievement of sustainable development goals.

Key words: Robotics, spot irrigation, smart agriculture, Internet of Things, irrigation robot, artificial intelligence.

Введение. В условиях растущей урбанизации и необходимости обеспечения продовольственной безопасности, интеграция передовых технологий в сельское хозяйство представляется критически важной задачей. Особенно это касается городских теплиц, где использование инноваций, таких как интернет вещей (IoT) и роботизированные системы для орошения и мониторинга, открывает новые возможности для

увеличения эффективности и устойчивости агропроизводства. Несмотря на значительный прогресс в этой области, остаются вопросы, связанные с оптимизацией ресурсоиспользования и повышением урожайности, требующие дальнейшего исследования.

Центральным аспектом нашего исследования является изучение роли и эффективности IoT-управляемых роботов в процессах точного орошения и мониторинга условий выращивания в городских теплицах. Мы стремимся оценить потенциал этих технологий для повышения производительности сельскохозяйственных культур при оптимальном использовании водных и других ресурсов.

Значимость данного исследования обусловлена его потенциалом в решении проблем продовольственной безопасности в городских условиях и минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Результаты могут способствовать формированию новых подходов к управлению городскими агроэкосистемами, включая разработку и внедрение инновационных IoT и роботизированных систем в сельское хозяйство.

Далее представлен обзор существующих решений, анализ потенциальных преимуществ и вызовов, а также формулируются рекомендации по дальнейшему развитию и применению этих технологий в контексте городских теплиц. Особое внимание уделяется работе R. Ş. Ricman, который подробно исследует применение IoT и робототехники в аграрной сфере, с акцентом на инновационных методах управления ресурсами и повышении урожайности. Авторы обсуждают основные технологии, методы искусственного интеллекта и приводят примеры улучшения эффективности орошения и мониторинга состояния почвы. Рассматривается влияние этих технологий на снижение трудозатрат и оптимизацию использования водных ресурсов, а также выделяются перспективы развития и преимущества для городского сельского хозяйства [1]. В своем обзоре управляемых роботизированных систем M.Polic и его коллеги представляют новаторскую методику управления ирригацией с использованием коллаборативного робота Franka Panda. Робот оснащен RGB-D камерой и датчиком влажности почвы для автоматизации процедуры, известной как метод "ощущения и внешнего вида".

Основная цель заключается в мониторинге влажности почвы для определения времени полива и нужного объема воды с минимальным ущербом для растений. Разработанная система использует алгоритм адаптивного силового управления, позволяющий роботу вводить датчик влажности почвы в зону корней растений без их повреждения. Камера применяется для грубой оценки поверхности почвы, что в сочетании с алгоритмом адаптивного силового управления позволяет роботу брать пробы почвы без предварительного знания ее жесткости. Кроме того, предложен подход на основе глубокого обучения для визуальной оценки состояния почвы и содержания влаги на основе данных, полученных с камеры [2]. Недавние исследования предлагают использовать недорогую и энергоэффективную технологию интеллектуального тепличного хозяйства на основе IoT. Для этого используются микроконтроллеры ESP32 и Raspberry Pi, а также различные сенсоры для контроля окружающей среды, которые работают через протокол MQTT в локальной Wi-Fi

сети. Цель заключается в достижении автономного управления климатом теплицы и условиями для роста растений при максимальной энергоэффективности за счет солнечной энергии. В рамках проекта реализован мониторинг влажности почвы и автоматический полив. Для отслеживания роста растений используется камера ESP32_CAM, которая в реальном времени фотографирует растения и сохраняет изображения для последующего анализа. Отмечается, что несмотря на значительные достижения в адаптации и согласованности работы с почвой разной плотности, существует потребность в улучшении разработки более точных и устойчивых моделей взаимодействия роботов с почвой. Это особенно важно в условиях, когда необходимо сократить риск повреждения корневой системы растений и оборудования. Для реализации таких улучшений требуется дальнейшее исследование и развитие адаптивных методов управления, учитывающих сложное взаимодействие механических свойств почвы, динамики роботов и точности оценки состояния почвы. Это подчеркивает важность продолжения исследований в данной области для достижения более высокой эффективности и надежности интеллектуальных систем управления тепличным хозяйством [3]. Agus Suwandi, и его коллеги разработали и протестировали мобильного робота для автоматического полива растений. Управление им осуществляется через Bluetooth с помощью смартфона. Для создания пользовательского интерфейса авторы использовали платформу App Inventor, а в качестве контроллера – Arduino Uno.

Цель исследования заключалась в разработке недорогой и эффективной системы автоматизации полива растений. Результаты тестирования показали, что робот успешно выполняет задачи по поливу с задержкой в среднем 1 секунду и максимальным радиусом действия в 5 метров [4]. На основе автоматической системы полива были разработаны и протестированы небольшие садовые роботы [5], которые помогают людям в выращивании растений, как показано на рисунке 1. Исследование охватывает два садовых робота, основанных на микроконтроллерах Raspberry Pi и ESP32. Они оснащены датчиками влажности почвы, камерами и системами для уничтожения сорняков. Основная цель заключается в автоматизации полива и ухода за растениями с возможностью удаленного управления через смартфон. Роботы способны удалять сорняки и поливать растения, используя модель нечеткой логики для принятия решений о поливе. Однако были выявлены ограничения в эффективности работы на различных типах поверхностей и в радиусе действия Wi-Fi сигнала. Ожидается, что в будущем будут доступны дополнительные датчики, а также возможно применение машинного обучения на основе изображений. Nagaraja [6] и Mechsy [7] (2017) также обсуждают использование автономных цепочек полевых растений, которые включают датчики для постоянной идентификации, технологию RFID и мобильную платформу для эффективного полива растений. Петерсон [8] подчеркивает важность разработки образовательных материалов в данной области, тогда как Луппов [9] обсуждает использование технологий Интернета вещей для сохранения скоропортящихся продуктов. Эта концепция может быть применена к орошению мини-теплиц.

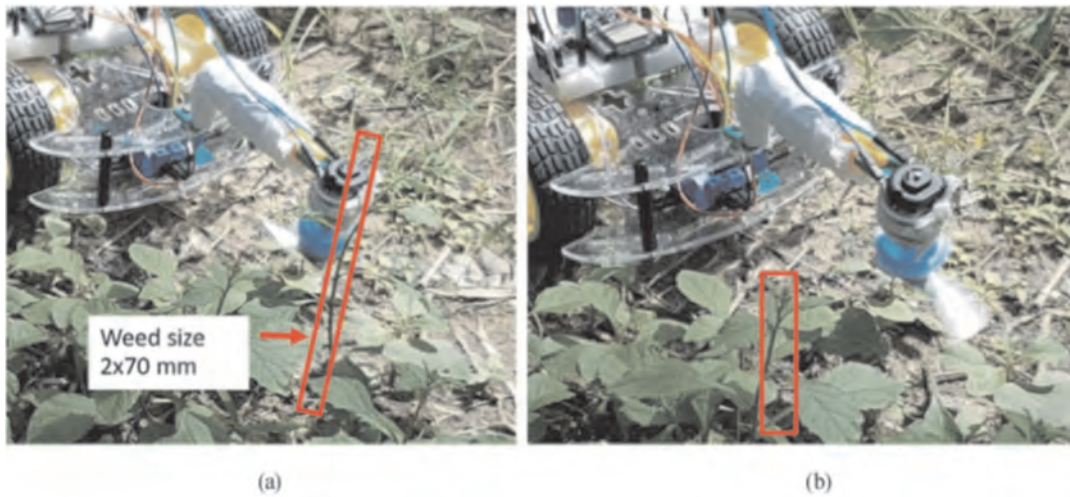


Рисунок 1 – Сорняки (а) до скашивания резакom и (б) после скашивания резакom

Наконец, Strisciuglio и его коллеги [10] впервые создали прототип, используя инновационное планирование маршрута и визуальные системы управления, а также алгоритмы для навигации по различным типам местности, обхода препятствий и точной обрезки растений. Однако проект столкнулся с вызовами, связанными с динамикой садовой среды, изменчивыми условиями освещения и необходимостью динамической реконструкции объектов для точного выполнения обрезки. Роботизированная система орошения [11] была специально разработана для орошения закрытых садов. Микроконтроллер Arduino увеличивает поток воды, когда датчик влажности обнаруживает сухую почву. Исследование фокусируется на разработке автоматической системы ирригации для домашнего садоводства, использующей датчики влажности почвы и микроконтроллер Arduino для регулирования полива. Целью является минимизация усилий по уходу за растениями и оптимизация использования воды. Применяется методология жизненного цикла разработки систем (SDLC), включающая этапы планирования, анализа, проектирования и реализации. Более того, для компенсации одного недостатка этой работы был разработан автоматический опрыскиватель удобрений.

Условия для сельскохозяйственного производства универсальны и сложны. Поэтому сельскохозяйственные роботы должны обладать исключительной адаптивностью, точной навигацией и способностью избегать препятствия. Обычно они состоят из четырех частей: системы технического зрения, системы управления, механических приводов и мобильной платформы. Более конкретные исследовательские вопросы представлены и исследованы в работе [12][13]. Основное внимание уделяется технологиям восприятия, автономному принятию решений, управлению и точному выполнению задач. Определены вызовы, связанные с интеграцией искусственного интеллекта и необходимостью адаптации к сложным агроусловиям. Предложены направления дальнейших исследований, включая разработку доступных и высококачественных роботов, а также улучшение взаимодействия с агроокружением.

Включение камеры Raspberry Pi Camera Module V2 в нашу разработку значительно расширяет возможности системы. Мы можем использовать технологию FPV в сочетании с мощностью Raspberry Pi, что предоставляет нам непревзойденные преимущества. У нас появляется улучшенная оперативная гибкость и оптимизация вычислительной нагрузки, делая систему идеально подходящей для динамически изменяемых условий. Использование камеры Raspberry Pi Camera Module V2 обеспечивает высокое качество изображения, что позволяет нам точно мониторить и управлять в реальном времени. Это повышает адаптивность и скорость реагирования системы на изменения в среде. Наше инновационное решение не только улучшает эффективность использования ресурсов, но и открывает новые горизонты для практического применения робототехнических систем в самых разнообразных условиях. Мы делаем значительный прогресс в данной области науки и техники.

Цель исследования заключается в оценке текущего состояния и прогресса в области использования IoT-управляемых роботов-манипуляторов для точного орошения и мониторинга условий выращивания в городских теплицах, с особым уклоном на Казахстан из-за дефицита водных ресурсов. Основной упор делается на изучение потенциала таких технологий для улучшения эффективности и устойчивости сельского хозяйства в условиях городской среды, а также для решения проблемы дефицита воды, особенно актуальной для Казахстана. Исследование направлено на выявление ключевых аспектов применения современных технологий, включая GPS и методы искусственного интеллекта, для мониторинга влажности почвы, автоматизации полива, борьбы с сорняками, а также исследование возможностей IoT для удаленного контроля и управления процессами в теплицах с целью экономии воды и более эффективного использования ее. Исходя из условий Казахстана, исследование стремится выявить специфические нерешенные проблемы и вызовы, связанные с оптимизацией использования водных ресурсов и повышением урожайности в условиях дефицита воды, предлагая дальнейшие направления исследований и разработки новых подходов к управлению в городских аграрных системах с ограниченным доступом к воде.

Методы и материалы. Научно-практический метод, который лежит в основе разработки нашего робототехнического комплекса для минитеплиц, объединяет применение передовых технологий и интеграцию комплексных технических решений. В центре внимания стоит разработка управляющих алгоритмов с использованием искусственного интеллекта на базе компактных вычислительных устройств, которые обеспечивают высокую производительность и оперативность. Основные усилия направлены на достижение надежности и выносливости робота, обеспечение его безопасной работы с людьми и животными, а также на развитие мобильности и интерактивности через обмен данными в реальном времени и применение сенсорного видеозрения для точного позиционирования и адаптации к изменяющимся условиям.

Эффективность и точность системы полива достигаются за счёт применения технологии FPV, которая позволяет оператору в реальном времени наблюдать за работой робота и корректировать его действия, а также через инновационные методы управления движением, включая распознавание инфракрасного излучения. Эта многоаспектная система, разрабатываемая на Python и основанная на возможностях Raspberry Pi,

демонстрирует гибкость и высокую адаптивность к условиям минитеплиц, открывая новые горизонты в области автоматизированного сельского хозяйства.

Эти технологические решения сыграют важную роль в обеспечении высокой точности и эффективности разработанной системы полива, что, в свою очередь, это может улучшить продуктивность сельскохозяйственного производства в минитеплицах.

Применение передовых технологий, таких как Raspberry Pi и FPV, в сочетании с разработкой специализированного программного обеспечения на Python, создает мощную и гибкую систему, способную адаптироваться к различным требованиям и условиям внутри минитеплицы.[14][15]

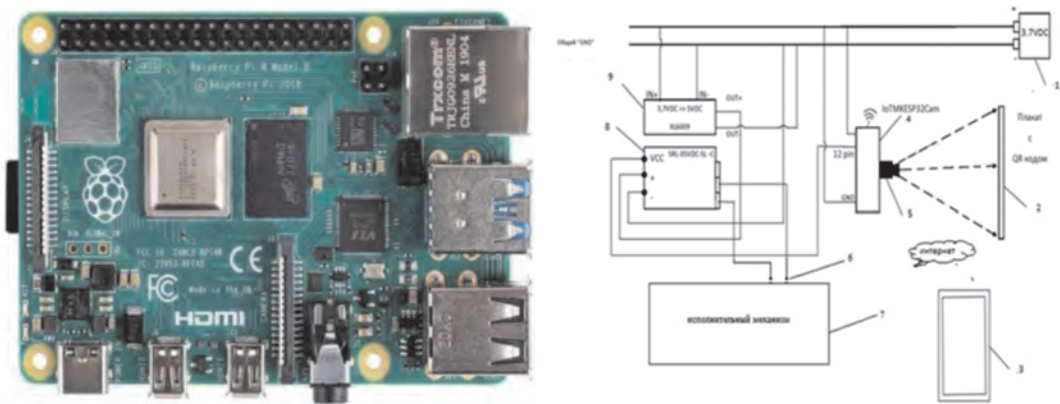


Рисунок 2 – Raspberry Pi и схема видекамеры для управления траекторией движения

Результаты. При разработке роботизированной системы для автоматизированного точечного полива растений в минитеплицах мы ставим перед собой несколько ключевых целей. Используя технологии Raspberry Pi и FPV, система будет точно определять местоположение растений с помощью QR-кодов и управлять движением робота по заданным траекториям. Основные ожидаемые результаты:

- Высокая точность распознавания QR-кодов для точного определения местоположения растений в минитеплице.
- Эффективное и точное управление движением робота-поливальщика для минимизации возможных повреждений растений и обеспечения оптимального полива.
- Способность системы к адаптации к изменениям окружающей среды для оптимизации режима полива в реальном времени.

Обсуждение. Разработка и внедрение роботизированной системы, предназначенной для автоматизации точечного полива в минитеплицах, открывают новые перспективы для сельского хозяйства. Эта система предлагает эффективные решения для экономии трудовых ресурсов и оптимизации использования воды. Использование Raspberry Pi в качестве базового контроллера и модуля камеры Raspberry Pi V2 для считывания QR-кодов и навигации значительно повышает точность и эффективность системы. Благодаря этому система может адаптироваться к расположению растений без необходимости ввода данных вручную. Она создает потенциал для более эконо-

мичного использования водных ресурсов, что особенно важно в условиях ограниченного доступа к воде. Благодаря масштабируемости и гибкости адаптера система может использовать передовые технологии и приспосабливаться к разнообразным условиям и потребностям минитеплиц. Она также предоставляет основу для внедрения дополнительных технологий, таких как датчики влажности земли.

Однако при разработке и тестировании системы необходимо учитывать потенциальные ограничения, такие как точность распознавания QR-кодов в различных условиях освещения и сложности навигации в ограниченном пространстве минитеплиц. Решение этих вызовов требует дальнейшего изучения и оптимизации, чтобы обеспечить надежность и эффективность системы в различных агроусловиях. В итоге данное исследование подчеркивает значительный вклад интеграции Интернета вещей (IoT) и робототехники в совершенствование методов управления в сельском хозяйстве. Это способствует повышению производительности, устойчивости и экономической эффективности аграрных систем. Перспективы для будущих исследований включают разработку новых подходов к автоматизации ухода за растениями и управлению ресурсами. Это будет способствовать достижению целей устойчивого развития и решению глобальных проблем продовольственной безопасности и управления водными ресурсами.

Заключение. Исследование применения роботизированных систем для автоматизации точечного полива в городских минитеплицах показывает большой потенциал для улучшения эффективности и экологической устойчивости сельского хозяйства. Использование передовых технологий, таких как искусственный интеллект и IoT, с Raspberry Pi и Raspberry Pi Camera Module V2 для контроля и управления, открывает новые возможности для малого и среднего бизнеса, частных лиц и офисных пространств. Эти инновации позволяют повысить качество урожая и автоматизировать процессы ухода за растениями, уменьшая зависимость от ручного труда. Несмотря на некоторые сложности, такие как точность распознавания QR-кодов в различных условиях освещения и навигация в ограниченном пространстве минитеплиц, потенциал для увеличения производительности и экономической эффективности огромен. Это особенно важно для регионов с ограниченными водными ресурсами, например, для Казахстана, где внедрение таких технологий может сыграть ключевую роль в обеспечении продовольственной безопасности и управлении водными ресурсами. В заключение, наше исследование подчеркивает важность разработки и интеграции новых агротехнологий в городское сельское хозяйство, способствуя созданию устойчивой и экологически чистой городской среды. Результаты работы могут стать основой для дальнейших разработок в области автоматизации аграрных систем и внесения значительного вклада в достижение целей устойчивого развития, открывая новые горизонты для исследований и практического применения в сфере умного сельского хозяйства.

Будущая работа. Для проверки теоретических предположений и оценки практической применимости разработанной системы планируется провести серию экспериментов в городской теплице. Цель экспериментов - оценить точность и эффективность системы, включая способность точного определения местоположения растений с использованием QR-кодов и эффективное управление движениями робота-

поливальщика. Также будет изучено влияние системы на урожайность и качество растений.

Перед началом экспериментов будет проведено тщательное планирование, включая выбор и подготовку оборудования, разработку программного обеспечения для управления системой, а также выбор и подготовку растений для исследования. Система будет оцениваться по различным критериям, включая параметры влажности почвы, роста растений и потребления воды.

Помимо экспериментов, планируется использовать компьютерное моделирование для имитации работы системы в различных условиях. Это позволит определить потенциальную эффективность системы и оптимальные параметры для экспериментов. Разработка и внедрение IoT-управляемых роботов-манипуляторов для точного полива и мониторинга в городских теплицах открывает новые перспективы для сельского хозяйства в условиях урбанизации. Проведение запланированных экспериментов и моделирование работы системы позволит не только подтвердить теоретические предположения, но и оценить практическую эффективность и применимость разработки. Сотрудничество с научными группами и использование передовых технологий способствуют достижению целей проекта и внесению значительного вклада в развитие устойчивого сельского хозяйства.

ЛИТЕРАТУРА

1 R. Ş. Ricman, M. Marinca, E. Ilies, S. Bularka, A. Gontean and D. Ursu, "Design and Implementation of a Greenhouse Monitoring and Control System," 2023 46th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE), Timisoara, Romania, 2023, pp. 1-5

2 M.Polic, M.Car, J. Tabak, M.Orsag, "Robotic Irrigation Water Management: Estimating Soil Moisture Content by Feel and Appearance", (2022).

3 K. Lee, M. J. Islam, H. Lee, W. Kim, S. -K. Lee and B. Kim, "IoT Based Intelligent Greenhouse Farming Technology with Low Cost and Energy Efficiency," 2023 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC), Singapore, 2023, pp. 1-37

4 Agus Suwandi., Abdul Hafid, Paronda., Aeri Sujatmiko. (2020). Robot Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis App Inventor. 8(1):51-60. Journal of Electrical and Electronics doi: 10.33558/JREC.V8I1.2222

5 Tangtisanon, P. Small gardening robot with decision-making watering system. Sens. Mater. 2019, 31, 1905–1916.

6 Nagaraja, H., Aswani, R., & Malik, M. (2012). Plant Watering Autonomous Mobile Robot. IEEE International Conference on Robotics and Automation.

7 L. S. R. Mechsy, M. U. B. Dias, W. Pragithmukar and A. L. Kulasekera, "A mobile robot based watering system for smart lawn maintenance," 2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), Jeju, Korea (South), 2017, pp. 1537-1542

8 Петерсон, Ирина Робертовна et al. "Состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования." состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования (2020): n. pag.

9 Луппов, е. et al. "технологии iot для обеспечения сохранности скоропортящихся пищевых продуктов и медицинской безопасности." LAST MILE Russia (2021): n. pag.

10 Strisciuglio, N.; Tylecek, R.; Blaich, M.; Petkov, N.; Biber, P.; Hemming, J.; van Henten, E.; Sattler, T.; Pollefeys, M.; Gevers, T.; et al. Trimbot2020: An outdoor robot for automatic gardening.

In Proceedings of the ISR 2018; 50th International Symposium on Robotics, Munich, Germany, 20–21 June 2018; pp. 1–6.

11 Lamsen, F.C.; Favi, J.C.; Castillo, B.H.F. Indoor Gardening with Automatic Irrigation System using Arduino Microcontroller. *ASEAN Multidiscip. Res. J.* 2022, 10, 131–148.

12 Raj, R.; Aravind, A.; Akshay, V.; Chandu, M.; Sharun, N. A seed planting robot with two control variables. In Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Tirunelveli, India, 23–25 April 2019; pp. 1025–1028.

13 Katzschmann, R.K.; DelPreto, J.; MacCurdy, R.; Rus, D. Exploration of underwater life with an acoustically controlled soft robotic fish. *Sci. Robot.* 2018, 3, eaar3449.

14 Х. Али; С.А.Х. Сайед Нидзамуддин; М. Эльшейх,. Smart irrigation system based IoT for indoor housing farming, 2024, *AIP Conf. Proc.* 2898, 030070 (2024)

15 H. T, S. R. Menon, P. S. Swathy, S. Suresh, J. Adarsh and S. Sree Kumar, "UAV Incorporating Infrasonic Transmitter for Bird Deterrence and Field Surveillance," *2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)*, Trivandrum, India, 2023, pp. 1-6

REFERENCES

1 R. Ş. Ricman, M. Marinca, E. Ilies, S. Bularka, A. Gontean and D. Ursu, "Design and Implementation of a Greenhouse Monitoring and Control System," *2023 46th International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, Timisoara, Romania, 2023, pp. 1-5

2 M.Polic, M.Car, J. Tabak, M.Orsag, "Robotic Irrigation Water Management: Estimating Soil Moisture Content by Feel and Appearance", (2022).

3 K. Lee, M. J. Islam, H. Lee, W. Kim, S. -K. Lee and B. Kim, "IoT Based Intelligent Greenhouse Farming Technology with Low Cost and Energy Efficiency," *2023 International Conference on Electronics, Information, and Communication (ICEIC)*, Singapore, 2023, pp. 1-37

4 Agus Suwandi., Abdul Hafid, Paronda., Aeri Sujatmiko. (2020). Robot Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis App Inventor. *8(1):51-60. Journal of Electrical and Electronics* doi: 10.33558/JREC.V8I1.2222

5 Tangtisanon, P. Small gardening robot with decision-making watering system. *Sens. Mater.* 2019, 31, 1905–1916.

6 Nagaraja, H., Aswani, R., & Malik, M. (2012). Plant Watering Autonomous Mobile Robot. *IEEE International Conference on Robotics and Automation.*

7 L. S. R. Mechsya, M. U. B. Dias, W. Pragithmukar and A. L. Kulasekera, "A mobile robot based watering system for smart lawn maintenance," *2017 17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Jeju, Korea (South), 2017, pp. 1537-1542

8 Петерсон, Ирина Робертовна et al. "Состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования." состояние, проблемы, перспективы развития современной науки и образования (2020): n. pag.

9 Луппов, е. et al. "технологии iot для обеспечения сохранности скоропортящихся пищевых продуктов и медицинской безопасности." *LAST MILE Russia* (2021): n. pag.

10 Strisciuglio, N.; Tylecek, R.; Blaich, M.; Petkov, N.; Biber, P.; Hemming, J.; van Henten, E.; Sattler, T.; Pollefeys, M.; Gevers, T.; et al. Trimbot2020: An outdoor robot for automatic gardening. In Proceedings of the ISR 2018; 50th International Symposium on Robotics, Munich, Germany, 20–21 June 2018; pp. 1–6.

11 Lamsen, F.C.; Favi, J.C.; Castillo, B.H.F. Indoor Gardening with Automatic Irrigation System using Arduino Microcontroller. *ASEAN Multidiscip. Res. J.* 2022, 10, 131–148.

12 Raj, R.; Aravind, A.; Akshay, V.; Chandy, M.; Sharun, N. A seed planting robot with two control variables. In Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), Tirunelveli, India, 23–25 April 2019; pp. 1025–1028.

13 Katzschmann, R.K.; DelPreto, J.; MacCurdy, R.; Rus, D. Exploration of underwater life with an acoustically controlled soft robotic fish. *Sci. Robot.* 2018, 3, eaar3449.

14 Х. Али; С.А.Х. Сайед Нидзамуддин; М. Эльшейх,. Smart irrigation system based IoT for indoor housing farming, 2024, *AIP Conf. Proc.* 2898, 030070 (2024)

15 H. T, S. R. Menon, P. S. Swathy, S. Suresh, J. Adarsh and S. Sreekumar, "UAV Incorporating Infrasonic Transmitter for Bird Deterrence and Field Surveillance," *2023 IEEE International Conference on Power Electronics, Smart Grid, and Renewable Energy (PESGRE)*, Trivandrum, India, 2023, pp. 1-6

Н. БАЙШОЛАН*, Қ. С. БАЙШОЛАНОВА

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: *baisholan@gmail.com, baisholanova.k@gmail.com

ФРОДПЕН КҮРЕСУДЕ ЖАСЫРЫН МАРКОВ МОДЕЛІН ҚОЛДАНУ

Мақалада қаржы саласындағы алаяқтықтың алдын алуда фродқа қарсы күресуде жасырын Марков моделін қолдану арқылы машиналық оқыту әдісінің тәуекелділікті төмендететіні туралы талдау ұсынылады. Себебі Бүкіләлемдік экономикалық форумның жылдық жаһандық тәуекелдер туралы есеп берулерінде киберосалдық пен киберқауіпсіздік шараларына аса назар аудару өзекті мәселелердің бірі екені қарастырылып, алдағы уақыттарда оның алдын алу, болжау қажеттігі туындайды. Транзакциялық ортадағы аномалияларды анықтағанда машиналық оқыту арқылы тәуекелдерді дәл анықтау және талдау арқылы алаяқтық әрекеттердің ықтималдылығы бағаланады. Антифрод жүйесі үшін болатын тосын ауытқулардың ықтималдылығы мен жүйе күйлерінің сипаттарын Марков тізбегінің талаптарына сәйкес стохастикалық модель немесе процесс ретінде қарастыруға болады. Сондықтан ақауларды немесе біздің жағдайымызда алаяқтықты анықтауда қадамдар арасындағы уақыт тұрақты емес және жаңа күйге көшу тек соңғы күйге ғана байланысты екені ескерледі.

Машиналық оқыту арқылы фродқа қатысты әрекеттерді болжауда жасырын Марков моделін қолдана отырып, *html* бағдарламалық жабдығымен қажетті деректер тізбегін модельдеуге болатыны және апостериорлық ықтималдылықты пайдаланып, болжанған тұжырымды жаңартуға да болатыны қарастырылған. Нәтижесінде қаржылық алаяқтыққа байланысты тәуекелділікті айқындап және оны азайтуда статистикалық тәсілдер мен ережелерді қолданудың тиімділігі үлкен көлемді деректерді дұрыс талдауға байланысты екені байқалады. Дегенмен, фрод үшін жасырын Марков моделін қолдануда құпия қаржылық деректерге қол жеткізудің қиындығы мен оны жүзеге асырудың күрделілігі, бастапқы күйлердің өту матрицасының айқын сипаттауына қойылатын жоғары талаптар секілді шараларды ескеру қажеттілігі баяндалады.

Түйін сөздер: антифрод, фрод, ықтималдық, жасырын Марков моделі, машиналық оқыту, темпоральді мәліметтер, мәліметтер ағынын талдау.

Н. БАЙШОЛАН*¹, Қ. С. БАЙШОЛАНОВА¹

¹КазНУ имену аль-Фараби, Алматы, Қазақстан
e-mail: *baisholan@gmail.com, baisholanova.k@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ СКРЫТОЙ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ ПРОТИВ ФРОДА

В статье представлен анализ того, как метод машинного обучения снижает риск за счет использования скрытой марковской модели в борьбе с фродом в предотвращении мошенничества в финансовой сфере. Это связано с тем, что в ежегодных отчетах Всемирного экономического форума о глобальных рисках особое внимание уделялось мерам кибероуязвимости и кибербезопасности, возникла необходимость их предотвращения, прогнозирования. При обнаружении аномалий в транзакционной среде с помощью машинного обучения точно выявляются риски, а с помощью анализа оценивается вероятность мошеннических действий. Вероятности неожиданных отклонений, происходящих для антифродовой системы, и свойства состояний системы можно

рассматривать как стохастическую модель или процесс в соответствии с требованиями цепи Маркова. Поэтому при обнаружении неисправностей или в нашем случае мошенничества учитывается, что время между шагами не является постоянным, и переход в новое состояние зависит только от конечного состояния.

Предполагается, что можно смоделировать требуемую последовательность данных с помощью программного обеспечения *hmmlearn*, используя СММ для прогнозирования действий, связанных с фродом, с помощью машинного обучения, а также можно обновить предсказанное утверждение, используя апостериорную вероятность. В результате заметно, что эффективность применения статистических подходов и правил в выявлении и снижении риска, связанного с финансовым мошенничеством, зависит от правильного анализа больших объемов данных. Однако для фрода излагается необходимость учитывать такие меры, как сложность доступа к конфиденциальным финансовым данным и сложность их реализации при использовании скрытой Марковской модели, высокие требования к четкому описанию матрицы переходов исходных состояний.

Однако при использовании скрытой Марковской модели для выявления фрода необходимо учитывать такие меры, как сложность доступа к конфиденциальным финансовым данным и сложность алгоритма их реализации, высокие требования к четкому описанию матрицы переходов исходных состояний.

Ключевые слова: антифрод, фрод, вероятность, скрытая марковская модель, машинное обучение, темпоральные данные, анализ потока данных.

N. BAISHOLAN* K. S. BAISHOLANOVA

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: *baisholan@gmail.com, baisholanova.k@gmail.com

APPLICATION OF THE HIDDEN MARKOV MODEL AGAINST FRAUD

The article analyzes a machine learning method that reduces risk by using a hidden Markov model with a view to prevent fraud in the financial sphere. It is related to the fact that in the annual reports of the World Economic Forum on global risks, special attention was given to measures of cyber vulnerability and cybersecurity, for which cause the need to prevent and predict them became necessary. When anomalies are detected in a transactional environment, using machine learning method, the risks are accurately identified, and the probability of fraudulent acts is assessed using analysis. The probabilities of unexpected deviations occurring for an antifraud system and the properties of the states of the system can be considered as a stochastic model or process in accordance with requirements of Markov chain. Therefore, if a fault or, in this case, fraud is detected, the time between steps is considered constant, and the transition to a new state depends only on the final state.

*It is supposed that it is possible to simulate the required sequence of data in *hmmlearn* software, using CMM to predict fraud-related actions using machine learning, and it is also possible to update the predicted statement using a posteriori probability. As a result, it is noticeable that the effectiveness of application of statistical approaches and rules in identifying and reducing the risk associated with financial fraud depends on the correct analysis of large amounts of data. Moreover, for fraud, it is necessary to take into account such measures as the complexity of access to confidential financial data and the complexity of their implementation when using a hidden Markov model, high requirements for a clear description of transition matrix of initial states.*

Key words: anti-fraud, fraud, probability, hidden Markov model, machine learning, temporal data, data flow analysis.

Кіріспе. Электрондық ортадағы жиі ақпараттық шабуылдарға ұшырап жататын маңызды салалардың бірі – қаржы саласындағы объектілер мен ондағы транзакциялық әрекеттер. Бүкіләлемдік экономикалық форумда жыл сайын қарастырылатын жаһандық тәуекелдер туралы есеп берулерде де киберосалдық пен киберқауіпсіздік шараларына аса назар аударылып, бұл туралы өзекті деректер келтіріліп отырады.

Жалпы қаржылық жүйеге жасалатын шабуылдар мен қатерлердің салдары біршама ақшалай шығындарға ұшырататыны белгілі. Мысалы, банк жүйесіне жасалатын ақпараттық қауіп-қатерлер әлемдегі ақпараттық шабуылдардың 17 пайызын құраса, онлайн-банкинг бойынша алаяқтық әрекеттер 2021 жылы 11,7 пайызды, Visa төлем жүйесі бойынша 9,4 пайызды және PayPal жүйесінде 37,8 пайызды құраған. Осылайша, сол жылдың өзінде қолданушылардың 8,2 пайызы фишингтік шабуылдан зардап шеккен. Бұл әрекеттер көбінесе қатерлі бағдарламалық жабдықтар арқылы жасалуда. Оған 2021 жылы 12,2 пайыздық көрсеткішпен сегізінші орыннан екінші орынға көтерілген банктік троян SpyEye бағдарламасы (12,2 пайыз), CliptoShuffer (10,2 пайыз) немесе Zbot (20,5 пайыз) Emotet ботнетінің белсенділігі мысал бола алады [1].

Әлемдегі географиялық аймақтар бойынша төлем жүйелеріне жасалатын компьютер арқылы шабуылдардан зардап шегушілер қатарында Ауғанстан, Түрікменстан және Тәжікстан азаматтары болса, ал мобильді құрылғылар бойынша Турция, Испания және Япония азаматтары болған. Касперский зертханасының есебі бойынша жалпы фишинг инциденттердің 11,1 пайызын құрайтыны анықталды. Төлем жүйелерінің ішінде әсіресе банктік карталардың қауіпсіздігін қорғау өзекті шара. Оның қаншалықты қорғау механизмдерімен жабдықталғандығына қарамастан, алаяқтық қатерлерден тәуелді болып қала береді. Бұл фактілердің барлығы банк жүйесіндегі кибератакаларға үлкен мән беру керектігін білдіреді. Сондықтан, ақша нарығын реттеуде IOSCO халықаралық қаржылық ұйымы банк саласындағы ақпараттық қауіпсіздікті күшейту мақсатында ондағы ақпараттық жүйелердің сенімді болуын міндеттеді. Ұйым биылғы жылы өзінің кезекті жұмыс бағдарламасында маңызды сұрақтар бойынша «Қаржылық тұрақтылықты күшейту - Strengthening Financial Resilience» және «Тұрақтылық пен финтектегі жаңа тәуекелдерді шешу - Addressing New Risks in Sustainability and Fintech» атты мәселелерді қойды [2].

Банк жүйесінде жиі кездесетін ақпараттық шабуылдарға фишинг, DDoS-атакалар, жүйені қасақана бұзу, жеке мәліметтер мен қаржылық құжаттарға қол жеткізу қауіпін айтуға болады. Осылардың алдын алу үшін банк жүйесі фрод-модульдерді ендіруде. Мысалы, Халық банк 2022 жылдың наурызынан Анитфрод жүйесін ендіріп, қаржылық алаяқтықты 90 пайызға төмендеткен [3]. Ендірілген жүйеде клиенттердің мінез-құлқы портретін жасап, және алаяқтардың да мінез-құлқтарын ескеретін ереже қалыптастырылған. Сол арқылы күдікті клиенттерді айқындау мүмкіндігіне қол жеткізілген. Оған көбінесе:

– алаяқтық жарнамалар арқылы сенген клиенттердің банктік шоттарына қол жеткізіп, олардың атынан қаржылық операциялар жасау;

– банк қызметкері ретінде қоңырау шалу – клиентті сендіре отырып, жеке деректерден басқа, алаяқтардың шотына ақша аударту әрекеттерін жасау;

– құрылғыға алыстан қол жеткізу бағдарламасы арқылы алаяқтық жасау кезінде клиенттің телефонына немесе компьютеріне орнатылған жалған «клиентті қолдау қосымшалары» көмегімен банк шотына қол жеткізулері кездеседі. Оған TeamViewer немесе AnyDesk бағдарламалары себепші болып жатады.

Осындай әрекеттерге жол бермеу үшін фродпен күресіп, антифрод жүйесін ендіру өзекті. Антифрод жүйесі нормативтік-құқықтық актілер аясында төлем арналарындағы алаяқтықты анықтаудан бастап, күмәнді алаяқтың аккаунттарға тосқауыл қоюға, фрод-талдаушылар арқылы қауіптің жаңа түрлерін талдауға, RBA технологиясы арқылы легитимді қолданушылардың авторизацияларын жеңілдетеді.

Банк жүйесіндегі қызметке қатысты транзакциялық алаяқтықты айқындау үшін машиналық оқыту әдістері немесе сараптама жүйесімен статистикалық деректерді талдау әдістері қолданылады. Осы әдістердің көмегімен ішкі және сыртқы фродтармен, фишингпен күресіп, тәуекелдерді азайтуға болады. Ол үшін кросс-каналдар жүйесін қолданып, түрлі жүйелерде жасалаған қаржылық операцияларды талдау, күмәнді қаржылар мен оқиғаларды айқындау, күдікті тұлғаларды - клиенттер мен банк қызметкерлерін табу, осыларды айқындауға көмектесетін деректерді жинау секілді шаралар жасалады. Жоғарыда аталған әдістердің соңғысында өз кемшіліктері бар, олар: деректерді қолмен өңделуі, антифрод-аналитиктедің шешімдерінен тәуелді болып қалу, алақтық технологиялардың алуан түрлілігі болуы мүмкін.

Банк саласына қатысы машиналық оқытуды қолданғанда, ондағы басты есептер біршама тиімділіктер әкелетіні сөзсіз. Мысалы, регрессия арқылы – стратегиялық мақсаттарға жету үшін экономикалық болашақ дамуды болжауға, негізделген ішкі, сыртқы ақпарат түрлерін белгілі қасиеттерге сәйкес жіктеуге, кластеризациялауға, клиенттердің деректер өлшемін азайтуға және қаржылық операциялардағы тосын құбылыстарды айқындауға болады. Әрбір клиент туралы жинақталған ақпарат көлемі көп болған сайын, нәтиже де айқын бола түседі. Клиентке көрсетілетін әрбір банктік операциялар арқылы осы деректерді жинауға болады.

Тосунян Г.А. және Экмалян А.М. зерттеулері бойынша [4], банктік қызмет көрсетуде машиналық оқытудың белсенділігі көбінесе: скоринг пен андеррайтинг үшін, алаяқтықпен күресуде және клиенттер мен қызметкерлерді қолдауда, инкассация жасауда пайдаланылатыны байқалады. Әсіресе нейрон желісі, кездейсоқ орман, градиентті бустинг әдістері қолданылады.

Несие беруді автоматтандыруда да машиналық оқытудың ықпалы зор. Ол тәуекелді бағалау әдісін қолдану арқылы тәуекелді басқаруға мүмкіндік береді. Бұл жерде тәуекелдің өзі бағаланған ықтималдылық. Сондықтан ақпараттық қауіпсіздік архитектурасын тұрғызуда келесідей: хакерлік шабуылдар мен вирус қаупі; банктің конфеденциалды ақпараты мен клиенттердің дербес мәліметтерінің жарияланып кетуі, техникалық немесе бағдарламалық үзілістер, технологиялық ақаулар секілді тәуекелдер ескеріледі.

Шабуылдардың бинарлық жіктелуі туралы айтатын болсақ, ол мәліметтерді дайындау, алу және алгоритмді үйрету арқылы жасалып оқыту сапасы сандық түрде

бағаланады. Банктік антифрод жүйесі осы бинарлы жіктеу есебі арқылы шешілуі мүмкін.

Мысалы, транзакциялардың қауіпсіз, алаяқтық немесе тәуекелді топтарға анықтауда машиналық оқытудың ықтималдылық, корреляциялық және метрикалық әдістері қолданылады. Нәтижелі болжам ақпарат шынайы фактілік мәндермен салыстырылып, төмен нәтиже берсе, онда осы операцияға қатысты тағы басқада деректермен толықтырылып, қамтылады. Антифрод жүйесі онлайн ортадағы аномалияларды анықтағанда машиналық оқыту арқылы тәуекелдерді дәл бағалай алады. Машиналық оқыту талдау арқылы алаяқтық әрекеттердің ықтималдылығын көрсетеді [5, 6]. Қаржылық операцияладағы мәліметтерді темпоральды түрдегі мәліметтер ағыны ретінде қарастыруға болады. Олардан нақты уақыт кезіндегі қажетті білім үзіндісін немесе білім құрылымын алуға болады. Бұл жерде мәліметтер ағынын талдау, Бифет А. пікірінше келесідей шектеулерді ескереді [7]:

1) мәліметтер ағынының өлшемі шексіз болуына байланысты, оны шектеулі өлшеммен сақтаудың мүмкін еместігі, яғни кез келген уақытта шағын мәліметтер ағынын алып, сақтау қажеттілі туындайды;

2) нақты уақыт сәтіндегі мәліметтерді шығарып алу жылдамдығына сұраныс жаңа мәліметтерді генерациялау жылдамдығына ұқсас, яғни мәліметтерді өңдеу уақытының шектеулілігі;

3) генерацияланатын мәліметтердің негізі таралуы уақыт өте келе өзгеруі мүмкін, яғни тек соңғы түскен мәліметтер өңделуі тиіс.

Мысалы, темпоральді мәліметтер бойынша ауытқуларды анықтауда уақыт маңызды фактор болып табылады. Уақыттық қатарлардағы мәліметтер ағынынан ауытқуларды табу туралы біршама жеткілікті зерттеулер жасалған. Ауытқуларды табуда, мәліметтер типі, ұзындығы, белгісі (қалыпты немесе ауытқулы), интерпретациялануы (сипатталуы) және сипатталу деңгейі қарастырылады [8]. Антифрод жүйесі үшін болатын тосын ауытқулардың ықтималдылығы мен жүйе күйлерінің сипаттарын Марков тізбегінің талаптарына сәйкес стохастикалық модель/процесс ретінде қарастыруға болады. Сондықтан ақауларды немесе біздің жағдайымызда алаяқтықты анықтауда қадамдар арасындағы уақыт тұрақты емес және жаңа күйге көшу тек соңғы күйге ғана байланысты.

Жасырын Марков моделін (ЖММ) қолдануды талдау. Жоғарыдағы күйлерден жасырын тәуелділігі бар бақылаулардың болуы осы ЖММ-ін білдіреді. Оны Байес теоремасы арқылы да тұжырымдауға болады:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \cdot P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Марков тізбегінің қасиеттерін қанағаттандыратын, бірақ бақыланбайтын кездейсоқ, жасырын жеке күйлер үшін ЖММ қарастыруға болады [9]. Әдетте кездейсоқ шама $y(t) = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$ t уақыты мезетіндегі жасырын күй деп аталады. Ал кездейсоқ шама x күйлердің дискретті сандары $x(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ t уақыты мезетіндегі бақыланатын айнымалылар болады. 1-суретте көрсетілгендей, әрбір элемент кез келген мәнді қабылдайтын кездейсоқ айнымалы күйлерді білдіреді.



1-сурет – Жасырын Марков тізбегінің архитектурасы (моделі)

ЖММ арқылы бақылауларға мүмкіндік беретін параметрлерді анықтау қажет. $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ жүйесі N күйлер санынан тұрса, олардың әрқайсысы $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$ жиынындағы M мәндердің бірін қабылдайды және жүйенің q_t күйі Y жиынындағы алдыңғы күйден тәуелді. Күйлердің өзара ауысу ықтималдылықтары $A = \{a_{ij}\}$ матрицасы арқылы беріледі:

$$a_{ij} = p(q_{t+1} = y_j | q_t = y_i), \quad (2)$$

және a_{ij} элементтері стохастикалық шектеулерді қанағаттандырады (1-суреттегі көлденең бағыттармен сипатталған): $a_{ij} \geq 0$, мұндағы $1 \leq i \leq N$, $1 \leq j \leq N$ және $\sum_{j=1}^N a_{ij} = 1$.

Әрбір M мәннен бақылаулардың шығу матрицасы әрбір N күй бойынша құрастырылады (1-суреттегі тік бағыттармен сипатталған) немесе жүйенің t уақытында j күйіндегі n -ші белгіні бақылайтын тізбекке беру ықтималдылығы – $B = \{b_j(n)\}$ жиынымен беріледі:

$$b_j(n) = p(v_n | y_j), \quad (3)$$

және $b_j(n)$ элементтері келесі шектеулерді қанағаттандырады:

$b_j(n) \geq 0$, мұндағы $1 \leq i \leq N$, $1 \leq n \leq M$ және $\sum_{n=1}^M b_j(n) = 1$, мұндағы $1 \leq j \leq N$. Бастапқы күй ықтималдылықтары $\pi = \{\pi_j\}$, $\pi_j = p(q_1 = y_j)$, мұндағы $1 \leq j \leq N$. Сонда жасырын Марков моделі $\lambda = (A, B, \pi)$ түрінде сипатталады. Оны қолдану үшін үш есептің қойылымы қалыптастырылады:

1) бақыланатын мәліметтер тізбегі $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ мен $\lambda = (A, B, \pi)$ моделі беріліп, $p(X|\lambda)$ есептеледі де, ол модельдің берілген бақылаулар тізбегіне қаншалықты сәйкестігін көрсетеді. Оның аналитикалық шешімі тікелей-кері өту процедурасы болып табылады.

2) жоғарыдағы модель мен X бойынша декодтау, оңтайлы q_1, q_2, \dots, q_T күйлер тізбегін табу. Оны шешуде әдетте Витерби алгоритмі қолданылады.

3) оқу барысында бақылауларды ескеріп, $\lambda = (A, B, \pi)$ моделінің параметрлерін $p(X|\lambda)$ максимизацияланатындай етіп табу. Бұл есеп Баум-Уэлч алгоритмін қолданып шешіледі [10-12].

Есепті шешу үшін динамикалық бағдарламалау тәсілін қолдануға болады. Айталық фродты сипаттайтын оқиғаларды қарастырайық:

$$p(X|\lambda) = \prod_{i=1}^T P(x_i|q_i) \cdot \prod_{i=1}^T P(q_i|q_{i-1}) \quad (4)$$

Қаржы жүйесіндегі транзакциялық талдаулар негізінде қолданушының мінез-құлқына байланысты болжам жасалсын. Модель үшін жасырын күйлерге «күдікті» және «күдіксіз» деген күйлер шартты түрде қарастырылсын.

Ал бақылаулар ретінде: бір қолданушының түрлі геоорналасуы мен түнгі уақыттағы белсенділігі және бір қолданушының тұрақты геоорналасуы мен күндізгі уақыттағы белсенділігі секілді жиынтықтар қарастырылсын. Ықтималдылықтың осы екі жиынтықтарын: өтпелі ықтималдылықтар (жасырын күйлердің басқа күйлерге өтуі) мен шығу ықтималдылықтарын (жасырын күйлерді ескеру арқылы бақылау ықтималдылығы) пайдаланамыз. Оларды анықтап алған соң, үлгіні үйретуге болады. Олар Баум-Уэлч алгоритмі немесе алға қарай алгоритмі арқылы бағаланады. Келесі, Витерби алгоритмі бойынша жасырын күйлердің аса ықтимал тізбегі есептеліп, модельдің орындалуын бағалау кері қайтару арқылы жасалады. Тәжірибе жүзінде жоғарыда қарастырған фродттық мәселені шешуде оған Hmmleran кітапханасын қолдануға болады және модельге қатысты параметрлерді анықтауда «күдікті» және «күдіксіз» күйлер беріледі:

```
# Define the state space
states = ["suspect", "unsuspecting"]
n_states = len(states)
print('Number of hidden states :',n_states)
# Define the observation space
observations = ["different geolocations", "night activity", "permanent
geolocations", "daily activity"]
n_observations = len(observations)
print('Number of observations :',n_observations)
```

Нәтижесінде:

```
Number of hidden states : 2
Number of observations : 4
```

Осы қадамнан кейін бастапқы екі күйдің бөлінуі ықтималдықтар массиві ретінде айқындалады. Өтпелі ықтималдық бір күйден екінші күйге өту ықтималдығын мысалдағы жиынтықтар бойынша білдіретін 2×4 массив ретінде айқындалады. Бақылау ықтималдығы әрбір күйден әрбір байқаудың пайда болу ықтималдығын білдіретін 2×4 массиві ретінде анықталады. ЖММ hmm көмегімен анықталады және ондағы бақылау тізбегін декодтау үшін жоғарыда айтылған Витерби алгоритмін қолдану арқылы бақылаулар генерациялаған жасырын күйлердің ең ықтимал тізбектілігі есептеледі. Болжам нәтижесін графиктік сипатта көрсету үшін нақты деректерге және олардың арақатынастарына сүйене отырып, matplotlib кітапханасын қолдануға болады.

Сонымен қатар, ЖММ-дегі күйлердің жасырын айнымалылары мен бақыланатын айнымалылары арасындағы байланысты қолданып, фрод тудыратын жиынтықтардың (немесе алаяқтық фактілердің) қайсысы басым болатынын апостериорлық ықтималдылықты есептеу арқылы нақтылауға болады. Бұл әр күдікті жағдайдағы нақты фактілерді айқындауға алып келеді немесе жаңартылған ақпаратқа сүйене отырып, оған дейінгі тұжырымды жаңартуға немесе нақты пікір, ұсыныс алуға ықпал етеді.

Қорытынды. Қорыта айтқанда, машиналық оқыту арқылы фродқа қатысты әрекеттерді болжауда ЖММ қолдана отырып, hmmlearn бағдарламалық жабдығымен қажетті деректер тізбегін модельдеуге болады және апостериорлық ықтималдылықты пайдаланып, болжанған тұжырымды жаңартуға да болады. Нәтижесінде қаржылық алаяқтыққа байланысты тәуекелділікті айқындап және оны азайтуда статистикалық тәсілдер мен ережелерді қолданудың тиімділігі үлкен көлемді деректерді дұрыс талдауға байланысты екенін байқаймыз. Дегенмен, фрод үшін жасырын Марков модельін қолдануда құпия қаржылық деректерге қол жеткізудің қиындығы мен оны жүзеге асырудың күрделілігі, бастапқы күйлердің өту матрицасының айқын сипатталуына қойылатын жоғары талаптар секілді шараларды ескеру қажет.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Финансовые киберугрозы в 2021 году. <https://securelist.ru/financial-cyberthreats-in-2021/104553/>
- 2 IOSCO Commits to Deliver on Sustainability Disclosures and Crypto Exchanges in 2023. <https://www.iosco.org/news/pdf/IOSCONEWS688.pdf>
- 3 <https://www.nur.kz/nurfin/personal/2023518-zaschita-sredstv-klientov-v-halyk-pochemu-eto-tak-vazhno-i-kak-eto-rabotaet/?ysclid=lkqfs07omq234884234>.
- 4 Тосунян Г.А. Банковское право Российской Федерации / Г.А. Тосунян, А.М. Экмалян. – М.: Юрист, 2015. – 448 с. ISBN 5-7975-0233-X
- 5 Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных – Москва: ДМК Пресс, 2015. – 400 с. ISBN 978-5-97060-273-7
- 6 Машинное обучение против фрода. <https://www.osp.ru/os/2017/02/13052223?ysclid=lgjmg4xljr320964583>
- 7 Bifet A. Adaptive learning and mining for data streams and frequent patterns // SIGKDD Explorations Newsletter, 11, 2009. P 55-56. DOI:10.1145/1656274.1656287
- 8 Gupta, M., Gao, J., Aggarwal, C.C. and Han, J. (2014) Outlier Detection for Temporal Data: A Survey. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 26, 2250-2267. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2013.184>
- 9 Rabiner L.R. A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition. PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 77, NO. 2, FEBRUARY 1989
- 10 Момзикова М.П., Великодная О.И., Пинский М.Я., Сироткин А.В., Тулупьев А.Л., Фильченков А.А. Оценка вероятности наблюдаемой последовательности в бинарных линейных по структуре скрытых марковских моделях с помощью апостериорного вывода в алгебраических байесовских сетях // Труды СПИИРАН. – СПб: Наука, 2010. – Вып. 2. – С. 122–142.
- 11 Forney D.G. The Viterbi Algorithm // Proceedings of the IEEE. – 1973. – V. 61. – № 3. – P. 268–278.
- 12 Welch L.R. Hidden Markov Models and the Baum-Welch Algorithm // IEEE Information Theory Society Newsletter. – 2003. –V. 53. – № 4. – P. 10–13.

REFERENCES

- 1 Financial Cyber Threats in 2021. <https://securelist.ru/financial-cyberthreats-in-2021/104553/>
- 2 IOSCO Commits to Deliver on Sustainability Disclosures and Crypto Exchanges in 2023. <https://www.iosco.org/news/pdf/IOSCONEWS688.pdf>
- 3 <https://www.nur.kz/nurfin/personal/2023518-zaschita-sredstv-klientov-v-halyk-pochemu-eto-tak-vazhno-i-kak-eto-rabotaet/?ysclid=lkqfs07omq234884234>.
- 4 Tosunyan G.A. Banking Law of the Russian Federation / G.A. Tosunyan, A.M. Ekmalyan. - M.: Jurist, 2015. - 448 p. ISBN 5-7975-0233-X 4.
- 5 Flach P. Machine learning. The science and art of building algorithms that extract knowledge from data - Moscow: DMK Press, 2015. - 400 p. ISBN 978-5-97060-273-7
- 6 Machine learning against fraud. <https://www.osp.ru/os/2017/02/13052223?ysclid=lgjmg4x1jr320964583>
- 7 Bifet A. Adaptive learning and mining for data streams and frequent patterns // SIGKDD Explorations Newsletter, 11, 2009. P 55-56. DOI:10.1145/1656274.1656287
- 8 Gupta, M., Gao, J., Aggarwal, C.C. and Han, J. (2014) Outlier Detection for Temporal Data: A Survey. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 26, 2250-2267. <https://doi.org/10.1109/TKDE.2013.184>
- 9 Rabiner L.R. A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition. PROCEEDINGS OF THE IEEE, VOL. 77, NO. 2, FEBRUARY 1989
- 10 Momzikova M.P., Velikodnaya O.I., Pinsky M.Ya., Sirotkin A.V., Tulupyev A.L., Filchenkov A.A. Estimation of the probability of an observed sequence in binary linear in structure hidden Markov models using a posteriori inference in algebraic Bayesian networks // Proceedings of SPI-IRAS. - St. Petersburg: Nauka, 2010. - Issue. 2. - C. 122-142.
- 11 Forney D.G. The Viterbi Algorithm // Proceedings of the IEEE. - 1973. - V. 61. - № 3. - P. 268-278.
- 12 Welch L.R. Hidden Markov Models and the Baum-Welch Algorithm // IEEE Information Theory Society Newsletter. - 2003. -V. 53. - № 4. - P. 10-13.

**Г. У. БЕКТЕМЫСОВА^{1*}, Г. С. БАКИРОВА¹, Ш. Е. ЕРМУХАНБЕТОВА¹,
Г. А. ШЫНТОРЕ¹, Д. Б. УМУТКУЛОВ¹, Ж. С. МАНГЫШЕВА²**

¹Международный университет информационных технологий,
Алматы, Казахстан;

²Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан.
e-mail: *g.bektemisova@iitu.edu.kz, g.bakirova@iitu.edu.kz, s.yermukhanbetova@iitu.edu.kz,
g.shyntore@iitu.edu.kz, d.umutkulov@iitu.edu.kz, mangysheva.zhanar@gmail.com

АНАЛИЗ АКТУАЛЬНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ФЕДЕРАТИВНОГО ОБУЧЕНИЯ

В данной статье рассматривается федеративное обучение (ФО) как инновационный подход к машинному обучению, отличный от традиционных методов. В обычном машинном обучении (МО) данные собираются на центральном сервере для обучения модели. Однако в случае с ФО модель обучения направляется к данным, распределенным по локальным устройствам, и обучение происходит прямо на этих устройствах. Кроме того, в статье рассматриваются методы и алгоритмы федеративного обучения, определены преимущества и реальные области применения федеративного обучения. ФО находит применение в различных сферах, включая работу с медицинскими данными и персональными данными клиентов в компаниях сферы продаж. Этот подход особенно ценен для обеспечения конфиденциальности данных и соблюдения приватности.

Ключевые слова: федеративное обучение, машинное обучение, локальные устройства, интернет вещей, искусственный интеллект.

**Г. У. БЕКТЕМЫСОВА^{1*}, Г. С. БАКИРОВА¹, Ш. Е. ЕРМУХАНБЕТОВА¹,
Г. А. ШЫНТОРЕ¹, Д. Б. УМУТКУЛОВ¹, Ж. С. МАНГЫШЕВА²**

¹Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан;

²Қазақ-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан.
e-mail: *g.bektemisova@iitu.edu.kz, g.bakirova@iitu.edu.kz, s.yermukhanbetova@iitu.edu.kz,
g.shyntore@iitu.edu.kz, d.umutkulov@iitu.edu.kz, mangysheva.zhanar@gmail.com

ФЕДЕРАТИВТІ ОҚЫТУДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ӨЗЕКТІЛІГІ МЕН ПЕРСПЕКТИВАСЫН ТАЛДАУ

Бұл мақалада федералды оқыту (ФО) дәстүрлі әдістерден өзгеше машиналық оқытудың инновациялық тәсілі ретінде қарастырылады. Кәдімгі машиналық оқытуда (МО) деректер модельді оқыту үшін орталық серверде жиналады. Алайда, ФО жағдайында оқыту моделі жергілікті құрылғыларға бөлінген деректерге бағытталады және оқыту тікелей осы құрылғыларда жүреді. Сонымен қатар, мақалада Федеративті оқытудың әдістері мен алгоритмдері қарастырылады. Федеративті оқытудың артықшылықтары мен нақты қолданылуы анықталады. ФО әртүрлі салаларда, соның ішінде медициналық мәліметтермен және сату компанияларындағы клиенттердің жеке деректерімен жұмыс істеуді қолданады. Бұл тәсіл деректердің құпиялылығы мен құпиялылықты сақтау үшін өте маңызды.

Түйін сөздер: федеративті оқыту, машиналық оқыту, жергілікті құрылғылар, заттар интернеті, жасанды интеллект.

G. U. BEKTEMYSOVA^{1*}, G. S. BAKIROVA¹, SH., G. YERMUKHANBETOVA¹,
A. SHYNTORE¹, D. B. UMUTKULOV¹, ZH. S. MANGYSHEVA²

¹International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan;

²Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan.

e-mail: *g.bektemisova@iitu.edu.kz, g.bakirova@iitu.edu.kz, s.yermukhanbetova@iitu.edu.kz,
g.shyntore@iitu.edu.kz, d.umutkulov@iitu.edu.kz, mangysheva.zhanar@gmail.com

ANALYSIS OF THE RELEVANCE AND PROSPECTS OF APPLICATION OF FEDERATE TRAINING

This article examines federated learning (FOE) as an innovative approach to machine learning, different from traditional methods. In conventional machine learning (MO), data is collected on a central server to train the model. However, in the case of FO, the learning model is directed to data distributed across local devices, and learning takes place directly on these devices. In addition, the article discusses methods and algorithms of federated learning, identifies the advantages and real areas of application of federated learning. FO is used in various fields, including working with medical data and personal data of customers in sales companies. This approach is especially valuable for ensuring data confidentiality and privacy.

Key words: federated learning, machine learning, local devices, Internet of Things, artificial intelligence.

Введение. В современном информационном обществе объемы данных растут в геометрической прогрессии, открывая новые перспективы и вызовы для обработки и анализа информации. Однако с увеличением количества данных возникают проблемы с их централизованным хранением и обработкой, такие как уязвимость конфиденциальности и безопасности, а также неэффективное использование ресурсов.

В этом контексте федеративное обучение становится важным и перспективным направлением исследований в области машинного обучения. Федеративное обучение представляет собой подход, при котором модели обучаются на распределенных устройствах, не передавая при этом конфиденциальные данные на центральный сервер. Такой подход обеспечивает не только сохранность приватности данных, но и позволяет эффективно использовать ресурсы, распределенные по различным узлам сети.

В данной статье мы рассмотрим актуальность и перспективы применения федеративного обучения в различных сферах, начиная от медицинских приложений и финансовых сервисов до обеспечения кибербезопасности и управления городскими системами. Мы также проанализировали существующие подходы и решения в области федеративного обучения, выделив его преимущества, ограничения и возможности дальнейшего развития. Наша работа также охватывает перспективные направления исследований и практического применения федеративного обучения, а также вызовы, стоящие перед этим перспективным направлением в будущем.

Литературный обзор. Федеративное обучение (ФО) представляет собой инновационный подход к машинному обучению, который позволяет сохранять и обучать модели на локальных устройствах без централизованной передачи данных на сервер. Это способствует сохранению конфиденциальности данных, снижению затрат на передачу информации и решению проблем, связанных с централизованным хранением.

В рамках ФО глобальная модель хранится на центральном сервере, а копии модели передаются на локальные устройства для обучения на основе местных данных. Со временем модели на устройствах становятся более приватными. При обновлении параметров модели данные от локальных моделей передаются глобальной модели с использованием безопасных методов. Это позволяет объединять и усреднять данные для получения новых знаний, расширяя возможности модели за счет данных из различных источников.

Устаревшие методы сбора данных и централизованный подход к машинному обучению могут создавать проблемы безопасности и конфиденциальности. ФО представляет инновационные методы для снижения рисков и обеспечения безопасности и конфиденциальности при сборе информации.

В статье [1] рассматриваются потенциальные проблемы безопасности и конфиденциальности при использовании передовых технологий в "умных" городах, таких как рост использования искусственного интеллекта (ИИ) и Интернета вещей. Статья [2] обращает внимание на увеличивающуюся сложность управления данными и ресурсами из-за роста населения и объема передачи информации. В статье [3] подчеркивается важность исследований в сенсорном зондировании "умных" городов и рассматривается потенциал ФО в решении проблем конфиденциальности и безопасности при сборе данных.

Статья [4] обсуждает распространение Интернета вещей в различные сферы повседневной жизни благодаря следующим факторам: традиционные технологии искусственного интеллекта требуют централизованного сбора и обработки данных, что может быть невозможно в реальных сценариях применения из-за высокой масштабируемости современных сетей и возрастающих проблем с конфиденциальностью. Федеративное обучение представляет собой подход к распределенному совместному обучению искусственного интеллекта, который позволяет обучать модели на распределенных устройствах без обмена данными. Применение федеративного обучения включает "умное" здравоохранение, "умный" транспорт, "умные" города и "умные" отрасли.

В статье [5] проведен краткий анализ алгоритмов машинного обучения для обеспечения безопасности Интернета вещей с основным вниманием на реализации алгоритмов федеративного и глубокого обучения. Федеративное обучение позволяет сохранять конфиденциальность данных при обмене информацией с другими системами, преодолевая недостатки традиционных методов машинного обучения.

Статья [6] отмечает, что устаревшие модели сбора данных, основанные на централизованных подходах машинного обучения, сопровождаются проблемами конфиденциальности и безопасности. Для решения этих проблем предлагается использовать федеративное обучение. В статье представлен обзор систем зондирования "умных городов" и рассмотрен потенциал федеративного обучения в сборе данных.

В статье [7] сформулирован вывод о том, что с появлением новых технологий, таких как искусственный интеллект вещей, приложения для "умных городов" сталкиваются с проблемами утечки конфиденциальной информации. Для защиты конфиденциальности информации предлагается интегрировать совместное обучение с приложениями "умных городов".

Методы и методология. Алгоритмы федеративного обучения являются ключевым компонентом в системах, где данные распределены между несколькими устройствами или серверами, и цель состоит в обучении общей модели без необходимости централизованного сбора данных. Нами представлены некоторые из наиболее широко используемых алгоритмов федеративного обучения.

Алгоритм Federated Averaging (FedAvg) является одним из наиболее распространенных и простых в реализации методов федеративного обучения. Он предполагает, что каждое устройство обучается локально на своих данных, а затем параметры модели усредняются на центральном сервере. Математическое представление этого алгоритма:

1. Инициализация: начинаем с инициализации глобальной модели θ_0 случайными параметрами.

2. Федеративное обучение: для каждой эпохи t выполняем следующие шаги:

- Каждое устройство участник k выполняет локальное обучение на своих данных с использованием текущих параметров модели θ_t и возвращает обновленные параметры $\theta_{t,k}$
- Центральный сервер агрегирует полученные параметры от всех устройств участников и вычисляет среднее значение:

$$\bar{\theta}_t = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \theta_{t,k}$$

- Глобальная модель θ_t обновляется с использованием среднего значения параметров:

$$\theta_{t,k} = \bar{\theta}_t$$

2. Повторение: Процесс повторяется до достижения заданного количества эпох или пока не будет достигнуто условие остановки.

Алгоритм Federated Learning with Differential Privacy (FedDP) включает в себя методы дифференциальной конфиденциальности, чтобы обеспечить защиту личных данных пользователей. Он добавляет шум к параметрам модели перед их передачей на центральный сервер.

Алгоритм Federated Learning with Secure Aggregation (FedSecAgg) предлагает методы шифрования и безопасной агрегации параметров модели для защиты данных в процессе передачи между устройствами и сервером.

Алгоритм Federated Learning with Split Learning (FedSplit) использует методы разделенного обучения для обеспечения безопасности и конфиденциальности данных. Вместо передачи сырых данных на центральный сервер, устройства передают промежуточные представления или признаки.

Алгоритм Federated Learning with Model Personalization (FedPer) позволяет каждому устройству персонализировать общую модель под свои уникальные данные, что позволяет получать более точные и адаптированные результаты для каждого устройства.

Эти алгоритмы и их вариации активно исследуются и разрабатываются в сфере федеративного обучения для обеспечения эффективного и безопасного обучения на распределенных данных.

Категоризация ФО. Нами были analyzed методы федеративного обучения, которые делятся на три группы: горизонтальное, вертикальное и федеративное трансферное обучение [7].

Горизонтальное федеративное обучение направлено на горизонтальную централизацию данных похожих устройств в пределах одного уровня или горизонта. Например, общие метки классов и примеры данных могут объединяться горизонтально. Обмен данных происходит между подобными устройствами, и обновленные модели передаются друг другу. Метод горизонтального федеративного обучения эффективен, когда общие шаблоны или закономерности могут быть извлечены из данных различных устройств. Это позволяет устройствам схожего типа обмениваться знаниями и учиться друг у друга, что может быть полезно, когда данные имеют общие характеристики [8]. Также этот метод позволяет решать технические и практические задачи путем распределения данных на различные устройства. Алгоритм сравнивает характеристики и связывает их соответствующим образом. Пример горизонтального федеративного обучения представлен на рисунке 1.

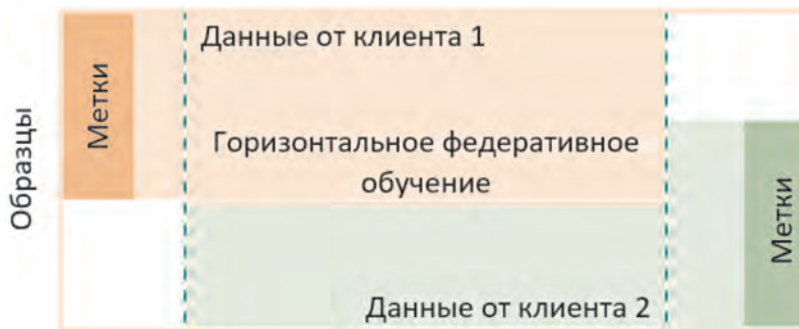


Рисунок 1 – Горизонтальное ФО

Одним из примеров горизонтального метода является его использование для предсказания поведения покупателей. Например, предположим, что необходимо предсказать эмоциональную окраску отзывов о продуктах. Для этого мы можем применить горизонтальное федеративное обучение с использованием мобильных устройств для обучения модели предсказывать эмоциональную окраску текстовых сообщений. Предположим, что каждое устройство (например, смартфон) обладает данными о текстовых отзывах пользователей, отправленных с этого устройства.

Алгоритм действия горизонтального ФО.

Шаг 1: Пользователь со смартфона 1 передает положительные отзывы, пользователь со смартфона 2 передает отрицательные отзывы, а пользователь со смартфона 3 передает как положительные, так и отрицательные отзывы. Обучение модели машинного обучения происходит на каждом устройстве, где модель предсказывает эмоциональный окрас текста, например, "положительный" или "отрицательный".

Шаг 2: После нескольких повторений обучения устройства обмениваются некоторыми параметрами моделей, чтобы каждая модель приобрела общее представление о данных с других устройств.

Шаг 3: Каждое устройство выполняет локальное обновление своей модели, используя информацию от других устройств. Например, устройство 1 может улучшить свою способность распознавать негативные тексты, основываясь на данных от устройства 2.

Шаг 4: Каждое устройство снова выполняет локальное обновление своей модели, используя информацию от других устройств. Например, устройство 1 может улучшить свою способность распознавать негативные тексты, основываясь на данных от устройства 2.

В итоге, после нескольких повторений обмена и локального обновления, устройства могут создать общую модель, которая обладает улучшенным предсказательным потенциалом для всех типов отзывов, даже несмотря на то, что каждое устройство изначально обучалось на данных своего пользователя.

Данный опыт показывает, как горизонтальное федеративное обучение позволяет устройствам схожих характеристик (в данном случае отправкой отзывов) обмениваться знаниями и улучшать общую модель, сохраняя при этом конфиденциальность личных данных пользователей.

Вертикальное федеративное обучение. Вертикальное федеративное обучение ориентировано на объединение вертикально разделенных данных, т.е. данных, разделенных по признакам или атрибутам. Обмен информацией происходит между устройствами, владеющими разными аспектами данных. Модели обучаются на этих частях данных, а затем объединяются для создания общей модели. Этот подход позволяет устройствам с различными характеристиками обмениваться знаниями, что может улучшить качество модели, особенно когда разные устройства содержат уникальные аспекты данных.

Например, предположим, у нас есть две организации: одна имеет данные о пациентах (например, их имена), а другая – медицинскую информацию (например, результаты анализов). Вертикальное федеративное обучение позволило бы этим организациям совместно обучать модель, не раскрывая конкретные имена пациентов и их медицинские результаты. Пример вертикального федеративного обучения представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 – Вертикальное ФО

Алгоритм действия вертикального обучения.

У организации 1 есть данные о именах пациентов, а у другой – данные об анализах. Каждая организация начинает обучение модели на своих локальных данных.

Однако они не могут полностью обучить модель, так как имеют доступ только к части всей информации. Организация 1 и Организация 2 делятся отдельно обученными статистиками или характеристиками, не раскрывая реальных данных о пациентах. Например, Организация 1 может отправить данные для каждой отдельной категории. Затем каждая организация обновляет свою модель, обрабатывая полученную информацию. Например, Организация 1, опираясь на данные Организации 2, может выставить более точный диагноз. После нескольких процессов обмена и локального обновления организации создают общую модель, которая учитывает как данные пациентов, так и результаты анализов, не раскрывая личные данные о пациентах. В итоге модель может ставить диагнозы на основе разнообразных характеристик

Федеративное трансферное обучение. Федеративное трансферное обучение отличается от сценариев горизонтального и вертикального федеративного обучения тем, что в большинстве случаев данные не разделяют ни пространство выборок, ни пространство признаков. Основная проблема заключается в отсутствии меток данных при их низком качестве. Знания из исходной области переносятся в целевую область для достижения лучших результатов обучения при трансферном обучении. Однако этот метод обеспечивает защиту данных и конфиденциальность пользователей[8].

Федеративное трансферное обучение используется для переобучения с одной модели на другую. Оно объединяет концепции федеративного обучения и трансферного обучения. Этот метод применяется, когда устройства обладают похожими характеристиками и уникальными данными, которые используются для обучения глобальной модели. Пример федеративного трансферного обучения представлен на рисунке 3.



Рисунок 3 – Федеративное трансферное обучение

Алгоритм действия федеративного трансферного обучения.

Рассмотрим на примере: на Гаджете 1 имеются данные о картинках типов растений, а на Гаджете 2 – о картинках различных видов зданий. Устройства начинают обучение модели для определения объектов на своих изображениях. Гаджет 1 и Гаджет 2 обмениваются одним из параметров своих моделей и некоторой обработанной информацией, защищая свои данные. Гаджет 1, применяя принятые параметры от Гаджета 2, реализует локальное трансферное обучение для улучшения способности модели распознавать здания. Аналогично Гаджет 2 применяет параметры от Гаджета 1 для улучшения способности модели распознавать растения. Глобальная модель

для распознавания как растений, так и зданий создается после нескольких операций обмена и локального трансферного обучения устройств. Устройства обмениваются знаниями и улучшают обобщающую способность модели.

Рассмотренный выше метод направлен на объединение данных устройств со схожими характеристиками, такими как тип данных или задача обучения. В отличие от горизонтального федеративного обучения, федеративное трансферное обучение учитывает общие шаблоны и закономерности, которые могут быть извлечены из данных различных устройств. Обмен знаний между подобными устройствами для улучшения обобщающей способности моделей является главной целью этого метода. Каждое устройство инициализирует свою модель для решения задачи обучения на основе собственных данных.

Преимущества федеративного обучения. В данной работе рассмотрены некоторые преимущества применения федеративного обучения (ФО). Эффективное использование данных позволяет объединить большой объем информации с различных устройств, что повышает качество глобальной модели и позволяет ей адаптироваться к различным сценариям. При этом данные хранятся на разных устройствах, таких как смартфоны, датчики Интернета вещей и другие. Личные данные локализуются на отдельных устройствах, что повышает конфиденциальность, особенно для таких организаций, как медицинские учреждения и др. Говоря о защите персональных данных, важно отметить, что они хранятся на устройствах, что обеспечивает их безопасность и снижает риск утечки данных. Кроме того, данные располагаются на устройствах, что обеспечивает легкий доступ к ним и не требует подключения к Интернету для обработки модели, что сокращает время выполнения задачи и расход трафика.

Реальные применения федеративного обучения. Также рассмотрены области применения федеративного обучения. Во-первых, смартфоны используются для предсказания слов, определения лиц при входе в систему и распознавания голоса с помощью Siri или Google Assistant. Во-вторых, автомобили с автопилотом используют данные для оценки окружающей среды и улучшения точности с помощью компьютерного зрения и машинного обучения. В-третьих, федеративное обучение улучшает системы прогнозирования продаж, опираясь на разнообразные данные для определения спроса на продукцию. В-четвертых, в области здравоохранения федеративное обучение применяется для обучения моделей с безопасным доступом к данным пациентов и обмена информацией между медицинскими организациями для обогащения набора данных и повышения безопасности обучения локальных моделей. Это позволяет медицинским работникам получать доступ к данным о пациентах и их заболеваниях из разных точек мира, а также позволяет медицинским учреждениям с небольшим количеством пациентов использовать новейшие возможности искусственного интеллекта.

Заключение. Федеративное обучение обеспечивает безопасность и конфиденциальность данных, ускоряет процесс обучения моделей и гарантирует безопасность данных после тренировки моделей для их распространения. Федеративное обучение становится все более популярным в различных отраслях, таких как здравоохранение, промышленность и электронная торговля.

Федеративное обучение позволяет создать точную глобальную модель, не требуя выноса данных с локальных устройств. Оно включает передачу моделей и параметров между сервером и локальными устройствами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Xia L. , Semirumi D.T., Rezaeihttps R. (2023). A thorough examination of smart city applications Exploring challenges and solutions throughout the life cycle with emphasis on safeguarding citizen privacy. *Sustainable Cities and Society*, 98.
- 2 Joshua Stock, Oliver Hauke, , Julius Weißmann, Hannes Federrath. (2023). *The Applicability of Federated Learning to Official Statistics*. Cornell University.
- 3 Ji Chu Jiang 1, Burak Kantarci, Sema Oktug, Tolga Soyata. (2020) *Federated Learning in Smart City Sensing: Challenges and Opportunities*, Sensors.
- 4 Dinh C. Nguyen, Ming Ding, Pubudu N. Pathirana, Aruna Seneviratne, Jun Li, H. Vincent Poor. (2021). *Federated Learning for Internet of Things: A Comprehensive Survey*. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, VOL. 23, NO. 3.
- 5 Vinay Gugueoth, Sunitha Safavat, Sachin Shetty (2023). *Security of Internet of Things (IoT) using federated learning and deep learning – Recent advancements, issues and prospects*. *ICT Express*, Volume 9, Issue 5, Pages 941-960.
- 6 Ji Chu Jiang, Burak Kantarci, Sema Oktug, Tolga Soyata. (2020). *Federated Learning in Smart City Sensing: Challenges and Opportunities Sensors*, 20(21), 6230.
- 7 Sharnil Pandya a, Gautam Srivastava b i j, Rutvij Jhaveri c, M. Rajasekhara Babu d, Sweta Bhattacharya e, Praveen Kumar Reddy Maddikunta e, Spyridon Mastorakis g, Md. Jalil Piran h, Thippa Reddy Gadekallu. (2023). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 55.
- 8 Li, Li, Yuxi, Fan, Mike, Tse, Kuo-Yi, Lin. (2020). *A review of applications in federated learning*. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 149.
- 9 A survey on security and privacy of federated learning, Viraaji Mothukuri a, Reza M. Parizi a, Seyedamin Pouriye b, Yan Huang a, Ali Dehghantanha c, Gautam Srivastav.
- 10 Yang, Q.a , Liu, Y., Chen, T. and Tong, Y. (2019). *Federated Machine Learning: Concept and Applications*. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 10(2), 1–19.

REFERENCES

- 1 Xia L. , Semirumi D.T., Rezaeihttps R. (2023). A thorough examination of smart city applications Exploring challenges and solutions throughout the life cycle with emphasis on safeguarding citizen privacy. *Sustainable Cities and Society*, 98.
- 2 Joshua Stock, Oliver Hauke, , Julius Weißmann, Hannes Federrath. (2023). *The Applicability of Federated Learning to Official Statistics*. Cornell University.
- 3 Ji Chu Jiang 1, Burak Kantarci, Sema Oktug, Tolga Soyata. (2020) *Federated Learning in Smart City Sensing: Challenges and Opportunities*, Sensors.
- 4 Dinh C. Nguyen, Ming Ding, Pubudu N. Pathirana, Aruna Seneviratne, Jun Li, H. Vincent Poor. (2021). *Federated Learning for Internet of Things: A Comprehensive Survey*. *IEEE COMMUNICATIONS SURVEYS & TUTORIALS*, VOL. 23, NO. 3.
- 5 Vinay Gugueoth, Sunitha Safavat, Sachin Shetty (2023). *Security of Internet of Things (IoT) using federated learning and deep learning – Recent advancements, issues and prospects*. *ICT Express*, Volume 9, Issue 5, Pages 941-960.
- 6 Ji Chu Jiang, Burak Kantarci, Sema Oktug, Tolga Soyata. (2020). *Federated Learning in Smart City Sensing: Challenges and Opportunities Sensors*, 20(21), 6230.
- 7 Sharnil Pandya a, Gautam Srivastava b i j, Rutvij Jhaveri c, M. Rajasekhara Babu d, Sweta Bhattacharya e, Praveen Kumar Reddy Maddikunta e, Spyridon Mastorakis g, Md. Jalil Piran h, Thippa Reddy Gadekallu. (2023). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, Volume 55.

8 Li, Li, Yuxi, Fan, Mike, Tse, Kuo-Yi, Lin. (2020). A review of applications in federated learning. *Computers & Industrial Engineering*, Volume 149.

9 A survey on security and privacy of federated learning, Viraaji Mothukuri a, Reza M. Parizi a, Seyedamin Pouriyeh b, Yan Huang a, Ali Dehghantanha c, Gautam Srivastav.

10 Yang, Q.a , Liu, Y., Chen, T. and Tong, Y. (2019). Federated Machine Learning: Concept and Applications. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, 10(2), 1–19.

ИСКЕНДЕРОВА СЕВИЛЬ АФЛАТЫН

Национальная Авиационная Академия, Баку, Азербайджан

e-mail: isgandarova91@gmail.com

**ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО
УПРАВЛЕНИЯ И ЕЕ ИНТЕГРАЦИЕЙ НА БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ**

В последние десятилетия беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны стали повсеместной и неотъемлемой частью нашей жизни. Они проявляются в большом разнообразии в самых различных приложениях для экономических, коммерческих, развлекательных, военных и академических целей. Это связано с технологическими тенденциями и быстрым прогрессом в области управления, миниатюризации и компьютеризации, кульминацией которых являются безопасные, легкие, надежные, более доступные и экономичные БПЛА.

В статье рассматриваются вопросы применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как в промышленности в целом, так и в отдельных её отраслях. Также более подробно описана эксплуатация беспилотных летательных аппаратов в авиации. Рассмотрены проблемы, существующие на сегодняшний день в этой сфере, а также методы решения этих проблем с помощью беспилотных технологий. Объяснена важная взаимосвязь между системой автоматического управления и ее интеграцией в беспилотные летательные аппараты. Подробно описывается техническая составляющая дрона, а также взаимосвязь между каждым звеном технических средств автоматизации. Приведен пример программного обеспечения, посредством которого осуществляется управление беспилотных летательных аппаратов. Дополнительно рассматриваются сценарии применения, потенциальные проблемы и проблемы безопасности. Наконец, определяются будущие направления исследований для дальнейшего совершенствования исследовательской работы. Мы считаем, что могут служить руководством и мотивацией для дальнейших исследований.

Ключевые слова: дрон (БПЛА), планирование пути, аккумуляторы, зарядка, приложения, робототехника, автоматизация, система автоматического управления, математическая модель.

ИСКЕНДЕРОВА СЕВИЛЬ АФЛАТЫН

Ұлттық Авиация Академиясы, Баку, Әзірбайжан

e-mail: isgandarova91@gmail.com

**АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ МЕН ОНЫҢ ҰШҚЫШСЫЗ
ҰШУ АППАРАТТАРЫНДАҒЫ ИНТЕГРАЦИЯСЫ АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС**

Соңғы онжылдықтарда ұшқышсыз ұшу аппараттары (ҰҰА) немесе дрондар біздің өміріміздің кең таралған және ажырамас бөлігіне айналды. Олар экономикалық, коммерциялық, ойын-сауық, әскери және академиялық мақсаттарға арналған әртүрлі қосымшаларда үлкен әртүрлілікте көрінеді. Бұл қауіпсіз, жеңіл, сенімді, қол жетімді және үнемді ұшқышсыз ұшу аппараттарымен аяқталатын басқару, миниатюризация және компьютерлендіру саласындағы технологиялық тенденциялар мен жылдам прогреске байланысты.

Мақалада жалпы өнеркәсіпте де, оның жекелеген салаларында да ұшқышсыз ұшу аппараттарын (ҰҰА) қолдану мәселелері қарастырылады. Сондай-ақ авиациядағы ұшқышсыз ұшу

аппараттарының жұмысы толығырақ сипатталған. Бүгінгі таңда осы саладағы проблемалар, сондай-ақ осы мәселелерді ұиқышсыз технологиялармен шешу әдістері қарастырылды. Автоматты басқару жүйесі мен оның ұиқышсыз ұшу аппараттарына интеграциясы арасындағы маңызды байланыс түсіндірілді. Ұиқышсыз ұшақтың техникалық компоненті, сондай-ақ автоматтандырудың техникалық құралдарының әр буыны арасындағы байланыс егжей-тегжейлі сипатталған. Ұиқышсыз ұшу аппараттарын басқару жүзеге асырылатын бағдарламалық жасақтаманың мысалы келтірілген. Қосымша қолдану сценарийлері, ықтимал мәселелер және қауіпсіздік мәселелері қарастырылады. Соңында зерттеу жұмысын одан әрі жетілдіру үшін болашақ зерттеу бағыттары анықталады. Біз әрі қарайғы зерттеулерге басшылық пен мотивация бола аламыз деп санаймыз.

Түйін сөздер: дрон (ұиқышсыз ұшу аппараттары), жолды жоспарлау, батареялар, зарядтау, қолданбалар, робототехника, автоматтандыру, автоматты басқару жүйесі, математикалық модель.

ISGANDAROVA SEVIL AFLATIN

National Aviation Academy, Baku, Azerbaijan
e-mail: isgandarova91@gmail.com

RELATIONSHIP BETWEEN THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM AND ITS INTEGRATION ON UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES.

In the last decade, unmanned aerial vehicles (UAVs) or drones have become a ubiquitous and integral part of our lives. They appear in great variety in a wide variety of applications for economic, commercial, entertainment, military and academic purposes. This is due to technological trends and rapid advances in control, miniaturization and computerization, culminating in safer, lighter, more reliable, more accessible and cost-effective UAVs.

The article discusses the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) both in industry as a whole and in its individual branches. The operation of unmanned aerial vehicles in aviation is also described in more detail. The problems that exist today in this area, as well as methods for solving these problems using unmanned technologies, are considered. The important relationship between the automatic control system and its integration into unmanned aerial vehicles is explained. The technical component of the drone is described in detail, as well as the relationship between each link of technical automation equipment. An example of software through which unmanned aerial vehicles are controlled is given. Additionally, application scenarios, potential problems, and security issues are discussed. Finally, future research directions are identified to further improve the research work. We believe that they can provide guidance and motivation for further research.

Key words: drone (UAV), path planning, batteries, charging, applications, robotics, automation, automatic control system, mathematical model.

Введение. Современная авиация на нынешнем этапе её развития находится в состоянии интенсивного совершенствования и развития. С одной стороны, это связано с расширением спектра стратегических и тактических мер, продиктованного освоением околоземного космического пространства.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА), также известные как дроны, широко используются и за последнее десятилетие привлекли к себе значительное внимание ученых. Большинство исследований посвящено мультикоптерам из-за простоты их механизмов управления и высокой точности позиционирования. Сообщается также

о других типах БПЛА, но количество этих исследований сравнительно невелико. Существует несколько ограничений на практическое внедрение БПЛА в различных сценариях применения. Одним из них является продолжительность полета, ограниченная из-за питания, обеспечиваемого батареями. Эту проблему можно решить за счет разработки различных типов батарей с использованием гибридных систем или двигателей внутреннего сгорания. Еще одним перспективным решением является док-станция, которая может заряжать или заменять аккумуляторы, хранить и даже выполнять задачи связи с БПЛА [1]. Док-станции могут решить проблему долговечности аккумуляторов и поставить БПЛА на шаг впереди в области автономных систем.

Сегодня во всем мире стремительно развиваются технологии, в том числе автоматизация, технологические прорывы в индустриализации и в отраслях, которые с ней связаны позволяют смотреть по-новому на существующие проблемы и решить их новыми современными и актуальными способами. Беспилотные технологии настолько универсальны, что могут решить достаточно много задач в различных отраслях, таких как: транспорт, телекоммуникации, энергоэффективность, геодезия, нефтегазовая отрасль, оперативное страхование и т.д.

На данный момент существуют системы контроля ПДК (предельно допустимой концентрации), позволяющие осуществлять эффективный и непрерывный контроль превышения ПДК вредных веществ в воздушном пространстве на больших территориях, не подвергая при этом опасности жизнь и здоровье людей – создание автоматизированной системы для мониторинга вредных веществ на базе беспилотного летательного аппарата. Быстрая и достаточно легкая замена контрольно-измерительных приборов обеспечивает адаптивность БПЛА для исследования различных загрязнителей [4]. Конечная цель развития программы — формирование конкурентоспособной отрасли беспилотных авиационных систем с выходом на лидирующие мировые позиции.

Основными факторами актуальности автоматизированной системы мониторинга на базе БПЛА являются:

- высокая скорость проведения;
- большая зона покрытия;
- возможность работы в автономном режиме в ограниченной зоне радиообмена.

Цель исследования. БПЛА относятся к пилотируемым летательным аппаратам, которые выполняют несколько задач без помощи человека. Ими можно управлять удаленно с помощью различных электронных устройств, таких как микропроцессоры и датчики [6]. БПЛА могут выполнять автономные операции в районах, где присутствие человека опасно для его здоровья.

Цель исследования – повышение эффективности процессов воздушного контроля и измерений за счет разработки и применения автоматизированной системы на базе беспилотного летательного аппарата. Внедрение дронов решает ряд проблем в авиации. Беспилотные технологии являются неотъемлемой частью технологического прорыва в промышленности и конкретно в сфере автоматизации. Использование дронов без систем автоматизации обеспечило бы меньший прирост эффективности в используемых отраслях, поскольку ручное управление сразу подразумевает ошибки, связанные с человеческим фактором, что привело бы к снижению эффективности

выполнения поставленных задач. Следовательно, при использовании дронов можно выявить взаимосвязь между эффективностью дрона, то есть его значимостью, и его системой автоматизации. При этом, чем выше качество, стабильность и точность системы автоматизации, тем выше эффективность использования дрона [6].

Сегодня в мире существует множество различных разработок систем автоматического управления дроном как самолетного типа, так и мультироторного. Системы автоматического управления дроном в основном направлены на автоматический полет по определенному маршруту и стабилизацию в пространстве. Стабилизация в пространстве означает управление положением беспилотного летательного аппарата относительно пространственных углов тангажа, крена и рыскания. В литературе их можно встретить как углы Крылова или углы Эйлера. Автоматический полет по маршруту, в свою очередь, подразумевает позиционирование или преодоление определенной точки пространства с координатами x, y, z или точки с определенной широтой, долготой и высотой. Системы автоматического управления (САУ) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) принципиально делятся на 2 категории – мультироторного БПЛА (квадрокоптеры, октокоптеры, трикоптеры и т.д.) и БПЛА с неподвижным крылом, т.е. самолетного типа. Как правило, САУ БПЛА в большинстве случаев являются адаптивными, имеют несколько внутренних перекрестных связей и основаны на принципе регулирования по углу, угловой скорости и угловому ускорению.

Для процесса управления полетом дрона по заданной траектории целесообразно включить изменение скорости вращения двигателей (что также является изменением тяги двигателей) – $u_1 \dots, 4$. В качестве управляемого возмущения целесообразно включить вес коптера f_2 . Все остальные входные воздействия, кроме управляющего воздействия и управляемого возмущения f_1 , будут относиться к неуправляемым возмущениям.

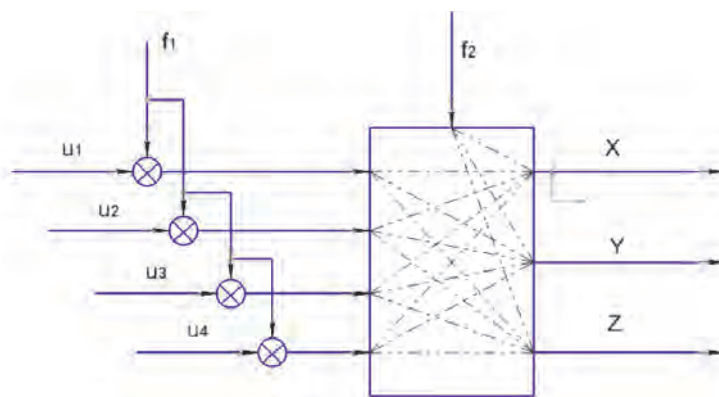


Рисунок 1 – Структурная схема квадрокоптера как объекта управления

Материалом исследования являются технологические процессы и стандарты в области контроля и измерения воздуха. Исследование проводится на базе квадрокоптера (рис. 2).



Рисунок 2

Классификация и описание математической модели. БПЛА бывают самых разных характеристик, оборудования, размеров, дальностей и форм. Существуют различные типы БПЛА: с неподвижным крылом, с одним винтом, гибридный с неподвижным крылом и мультикоптер [31]. БПЛА с неподвижным крылом состоят из основного корпуса, крыльев, пропеллера и двигателя.

БПЛА с неподвижным крылом – это беспилотные летательные аппараты, которые часто используются для аэрофотосъемки и проверки линий электропередачи. Такие БПЛА не способны зависать или летать вперед. Однако производство одновинтовых БПЛА обходится дорого и требует профессиональной подготовки. Эти беспилотные летательные аппараты механически сложны и чувствительны к препятствиям, таким как вибрация. В сравнении с ними мультироторные БПЛА являются наиболее доступными и простыми в сборке. Эти беспилотные летательные аппараты часто используются для фото- и видеонаблюдения. Квадрокоптеры являются наиболее часто используемыми БПЛА. Они завоевали популярность благодаря своей вертикальной посадке или быстрой маневренности, низкой стоимости и компактным размерам.

Математическая модель объекта управления – дрона [2] – основана на законах физики. На квадрокоптер влияют такие физические аспекты, как аэродинамика, моменты инерции, крутящий момент, гравитация и гироскопический эффект. Ниже представлена таблица с физическими эффектами, возникающими во время полета дрона. Вращение твердого тела в пространстве можно параметризовать с помощью нескольких методов, таких как углы Эйлера, углы кватернионов и углы Тейта-Брайана. Дрон движется в пространстве за счет результирующего вектора направления, который, в свою очередь, зависит от скорости вращения каждого из четырех двигателей. Двигатели создают тягу и крутящий момент относительно центра масс конструкции дрона. В аэрокосмической технике оси направлены так же, как у самолета, движущегося в положительном направлении x : правая сторона соответствует положительному направлению y , а вертикальная сторона соответствует положительному направлению z .

На основе законов физики и матриц вращения были выведены математические зависимости и законы управления, которые стали в основной математической модели, собранной в среде Matlab Simulink. Модель включает уравнения движения в пространственных координатах и углах.

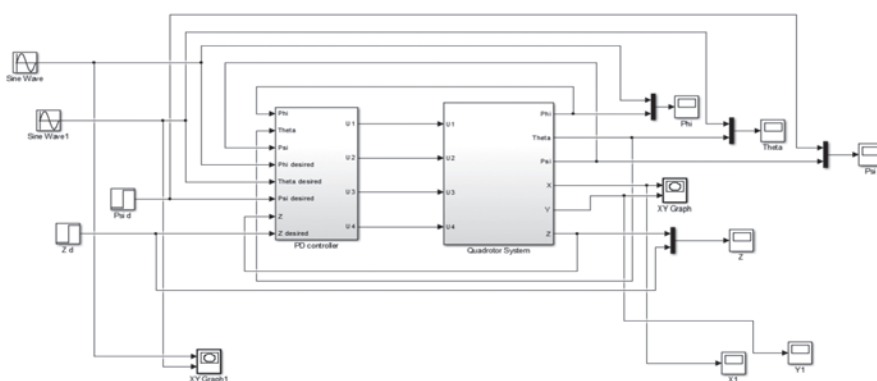


Рисунок 3 – Математическая модель квадрокоптера, собранная в среде Simulink Matlab

В рамках идентификации математической модели был проведен ряд активных экспериментов на собранном рабочем прототипе, а также активный эксперимент по получению аэродинамических характеристик воздушных винтов [5]. В результате эксперимента были получены аэродинамические характеристики винтов.

Результаты исследования и обсуждение

На сегодняшний день система управления беспилотными летательными аппаратами для автоматизации контрольно-измерительных работ в воздушном пространстве может быть представлена следующими участниками: БПЛА, оператор, диспетчер на удаленной части, диспетчер на наземной части; блок записи данных на SD-карту, блок измерения показаний окружающей среды (относительная влажность, температура, атмосферное давление), блок GPS/ГЛОНАСС.

Оператор должен настроить и откалибровать датчики «на земле», а затем управлять БПЛА напрямую, вручную или автоматически, согласно программе полета. Сбор данных должен иметь возможность осуществляться как в виде непрерывного процесса (с максимально возможной частотой самого «медленного» датчика), так и через заданный интервал времени. Анализ полученных данных от датчиков, установленных на БПЛА, осуществляется как непосредственно в процессе управления, используя показания с пульта оператора, так и после полета, на основе записей с SD-карты [1].

Для изучения полученных данных в настоящее время существует ряд программ, предназначенных для автоматизированной обработки информации по результатам мульти- и гиперспектральных съемок в интересах изучения состояния компонентов окружающей среды. Они включают набор процедур предварительной коррекции, преобразования и различные методы классификации, включая объектно-ориентированную сегментацию изображений в сочетании с геоинформационными технологиями.

Рабочий прототип квадрокоптера был собран на базе полетного контроллера Pixhawk, бесщеточных электродвигателей постоянного тока, GPS-навигатора, радиотелеметрического комплекта и регуляторов оборотов двигателя [3].

Контроллер полета включает в себя встроенный гироскоп, акселерометр, компас и барометр. В качестве контроллера полета на борту дрона можно использовать та-

кой контроллер, как Pixhawk. Pixhawk — это новая усовершенствованная система автопилота, основанная на проекте PX4 с открытым исходным кодом и созданная 3d Robotics. Среди основных преимуществ — быстрый, мощный 32-битный процессор и датчики от известной компании ST Microelectronics® и операционная система реального времени NuttX, обеспечивающая невероятную производительность, гибкость и надежность при управлении любым автономным устройством. Преимуществами платы Pixhawk являются встроенная многопоточность, Unix/Linux-подобная среда и совершенно новые функции автопилота. Основной модуль Pixhawk может быть расширен дополнительными опциями, такими как цифровой датчик воздушной скорости, поддержка внешних разноцветных светодиодных индикаторов, внешний компас и т.д. В роли датчика будет выступать GPS, который будет предоставлять информацию о геопозиции дрона и дополнительно отслеживать высоту его полета. Ublox NEO — модуль M8N с компасом.

Двигатели — один из основных приводов на борту дрона. Дроны и все БПЛА используют бесколлекторные (бесщеточные) трехфазные двигатели постоянного тока. При их подборе следует обратить внимание на их номинал, а именно количество оборотов в вольтах (KV), диаметр статора и ротора в данном случае равен 2213. Двигатели в первую очередь следует подбирать с охлаждением, чтобы они не изнашивались, как можно меньше перегревались и могли бы работать более стабильно в жаркую погоду. Также следует выбирать двигатели в зависимости от веса конструкции дрона. Если дрон весит больше, необходимо подбирать двигатели с меньшим KV и большим размером винта, тем самым создавая больший крутящий момент, то есть создавая большую тягу для подъема конструкции дрона. Также следует обратить внимание на двигатели, специально созданные для многовинтовых аппаратов, поскольку между этими двигателями и двигателями, предназначенными для авиационных БПЛА, имеются различия.

Регулятор оборотов двигателя. Имеется небольшая плата с микроконтроллером, который при получении сигнала от полетного контроллера (широотно-импульсная модуляция) увеличивает или уменьшает количество оборотов двигателя. Длительность импульса ШИМ варьируется в диапазоне 1-2 микросекунд. При 1 микросекунде двигатель выключается, при 1,5 микросекунде двигатель работает на 50% и при ширине импульса 2 микросекунды двигатель работает на максимальной мощности, совершая максимальное количество оборотов. Регуляторы, как и двигатели, необходимо подбирать в первую очередь под тип дрона; существует значительная разница между регуляторами самолетного и многовинтового типа. На многовинтовых регуляторах рабочая частота составляет не менее 600 Гц, а в самолетах — 400 Гц [6].

Описание программного обеспечения. БПЛА способны играть важную роль в задачах обработки данных и решении проблем. Несколько алгоритмов используются для оптимизации, автономности и планирования пути. Эти инструменты могут свести к минимуму человеческую помощь и инфраструктуру, необходимую для различных задач, таких как связь.

Программное обеспечение, установленное на БПЛА, признано важным фактором создания стоимости. Эта концепция сопровождала расширение отраслей и компаний, производящих программное обеспечение. В число этих компаний входят Skyworks

Aerial System (США), SkyWards (США), RedBird (Франция), PIX4D (Швейцария), MapBox (США), DroneDeploy (США), DEDrone (Германия) и Airware (США).

Программное обеспечение дрона может управляться несколькими программами. Программы для управления дроном называются «наземными станциями», поскольку управление происходит удаленно, и «наземная станция» получает информацию о состоянии дрона со своего борта. Одной из таких программ является Qground Control. В этой программе можно настроить как сам дрон, так и его полетное задание [4]. Это программное обеспечение очень гибкое, так как поддерживается операционными системами Windows, MacOS, Android, IOS, т.е. возможна установка их на мобильные устройства, такие как смартфоны и планшеты.

Заключение. Поскольку БПЛА привлекли значительное внимание исследователей, публикуется все больше и больше патентов и научных статей в этой области. Следствием этих инноваций является быстрое расширение исследований и разработок БПЛА. Кроме того, потребность в высокой мобильности, большей автономности и дальности действия БПЛА привела к разработке новых систем замены аккумуляторов, док-станций и точной посадки.

Объяснена важная связь между системой автоматического управления и ее интеграцией в беспилотные летательные аппараты.

Подводя итог, можно сказать, что дроны являются неотъемлемой частью робототехники и автоматизации. Это объясняется тем что, на производительность и качество работы БПЛА влияет его система автоматизации, а именно алгоритмы управления и точность приборов.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Гурьянов А.Е. Моделирование управления квадрокоптером //Электронный научно-технический журнал «Инженерный вестник», Россия. МГТУ им. Баумана, 2014.
- 2 Богословский С.В., Дорофеев А.Д. Динамика полёта летающих аппаратов. Учебное пособие, Санкт-Петербург 2002.
- 3 Верба В. С. Управление информационными возможностями многофункциональных бортовых радиолокационных комплексов // Радиотехника, №10. 2007. С. 9-13.
- 4 Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Степанов О.А. Оптимизация информационных процессов в автоматизированных системах с распределенной обработкой данных. М.: Технология, 2002. 280 с.
- 5 Ильюшко В.М., Митрахович М.М., Самков А.В., Силков В.И. Беспилотные летательные аппараты: методики приближенных расчетов основных параметров и характеристик. 2009. 302 с.
- 6 Овечкин М.В., Гедзь А.В. Автоматизация контрольно-измерительных работ в воздушном пространстве с использованием БПЛА // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 11-2. – С. 266-270.
- 7 Остроух, А.В. Интеллектуальные системы: монография / А.В. Остроух. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2020. – 316 с.
- 8 Федоров, Ю.Н. Справочник инженера по АСУТП: Проектирование и разработка. Учебно-практическое пособие / Ю.Н. Федоров. – М.: Инфра-Инженерия, 2008. –928 с.
- 9 Харазов, В.Г. Интегрированные системы управления технологическими процессами / В.Г. Харазов. – СПб.: Профессия, 2009. – 592 с.

10 Якубовская, Е.С. Автоматизация технологических процессов: учебно-методическое пособие / сост.: Е.С. Якубовская, Е.С. Волкова. – Минск: БГАТУ, 2012. – 132

REFERENCES

1 Guryanov A.E. Modelirovanie upravleniya kvadrokoptom /Elektronnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal «Inzhenernyj vestnik», Rossiya. MGTU im. Baumana, 2014.

2 Bogoslovskij S.V., Dorofeev A.D. Dinamika polyota letayushih apparatov. Uchebnoe posobie, Sankt-Peterburg 2002.

3 Verba V. S. Upravlenie informacionnymi vozmozhnostyami mnogofunkcionalnyh bortovyh radiolokacionnyh kompleksov // Radiotekhnika, №10. 2007. S. 9-13.

4 Balyberdin V.A., Belevcev A.M., Stepanov O.A. Optimizaciya informacionnyh processov v avtomatizirovannyh sistemah s raspredelennoj obrabotkoj dannyh. M.:Tehnologiya, 2002. 280 s.

5 Ilyushko V.M., Mitrahovich M.M., Samkov A.V., Silkov V.I. Bepilotnye letatelnye apparaty: metodiki priblizhennyh raschetov osnovnyh parametrov i harakteristik. 2009. 302 s.

6 Ovechkin M.V., Gedz A.V. Avtomatizaciya kontrolno-izmeritelnyh rabot v vozdušnom prostranstve s ispolzovaniem BPLA // Sovremennye naukoemkie tehnologii. – 2021. – № 11-2. – S. 266-270.

7 Ostrouh, A.V. Intellektualnye sistemy: monografiya / A.V. Ostrouh. – Krasnoyarsk: Nauchno-innovacionnyj centr, 2020. – 316 s.

8 Fedorov, Yu.N. Spravochnik inzhenera po ASUTP: Proektirovanie i razrabotka. Uchebno-prakticheskoe posobie / Yu.N. Fedorov. – M.: Infra-Inzheneriya, 2008. –928 s.

9 Harazov, V.G. Integrirovannye sistemy upravleniya tehnologicheskimi processami / V.G. Harazov. – SPb.: Professiya, 2009. – 592 s.

10 Yakubovskaya, E.S. Avtomatizaciya tehnologicheskikh processov: uchebno-metodicheskoe posobie / sost.: E.S. Yakubovskaya, E.S. Volkova. – Minsk: BGATU, 2012. – 132

G. N. KAZBEKOVA*, K. M. BERKIMBAYEV, N. M. ZHUNISSOV

*Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan
e-mail: *gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz*

THE USE OF VIRTUAL ENVIRONMENT IN EDUCATION

The rapid development of virtual and augmented reality technologies is currently taking place in almost all spheres of a life. Elements of virtual and augmented reality are used in such areas as education, medicine, transport, gaming, tourism and others. The active spread of these technologies causes the emergence of special competencies in the IT labor market and, as a result, the formation of new professions.

Many universities train students in the field of information technology. Recently, profiling of readiness for the development of virtual reality applications and computer games has begun. The provision of practical classes is accompanied by specific real time tasks, which gives students the opportunity to improve their skills in the use of software and technological devices.

The relevance of the research is determined by the current demand for the use of the latest technologies by IT developers in the field of creating computer games. Today, technologies that provide a player's immersion in virtual reality are becoming more and more popular. One of these technologies is a suit with wearable sensors that track a person's position in space in real time. However, there are quite a few real described projects in the literature and on the Internet.

This study examines the process of developing a task for creating a game application using virtual reality technology: a suit with wearable sensors for teaching students.

Key words: *computer games, IT, virtual reality, augmented reality, suit with body sensors, VR, AR, IMU sensor*

Г. Н. КАЗБЕКОВА*, К. М. БЕРКИМБАЕВ, Н. М. ЖУНИСОВ

*Международный казахско-турецкий университета имени Ходжи Ахмеда Ясави,
Туркестан, Казахстан
e-mail: *gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz*

ПРИМЕНЕНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ОБУЧЕНИЯ В ОБРАЗОВАНИИ

Развитие технологий виртуальной и дополненной реальности в настоящее время происходит практически во всех сферах деятельности. Элементы виртуальной и дополненной реальности используются в таких сферах, как образование, медицина, транспорт, гейминг, туризм и других. Активное распространение этих технологий вызывает на рынке труда IT-сферы появление особых компетенций.

Многие университеты готовят студентов по направлениям подготовки в области информационных технологий. Недавно началась специализация обучения по разработке приложений виртуальной реальности и компьютерных игр. Проведение практических занятий сопровождается конкретными заданиями, что дает студентам возможность совершенствоваться в использовании программного обеспечения и технических устройств.

Актуальность исследования определяется текущим спросом на использование новейших технологий IT-разработчиками в области создания компьютерных игр. Сегодня технологии, обеспечивающие погружение игрока в виртуальную реальность, становятся все более популярными. Одной из таких технологий является костюм с носимыми датчиками, которые отслеживают положе-

ние человека в пространстве в режиме реального времени. Однако в литературе и в Интернете существует довольно много реальных описанных проектов.

В данном исследовании рассматривается процесс разработки задачи по созданию игрового приложения с использованием технологии виртуальной реальности: костюма с носимыми датчиками для обучения студентов.

Ключевые слова: компьютерные игры, IT, виртуальная реальность, дополненная реальность, костюм с носимыми датчиками, VR, AR, IMU датчик.

Г. Н. КАЗБЕКОВА*, К. М. БЕРКИМБАЕВ, Н. М. ЖУНИСОВ

Кожжа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,
Түркістан, Қазақстан
e-mail: *gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz

ВИРТУАЛДЫ НАҚТЫЛЫҚ АРҚЫЛЫ ОҚЫТУ

Виртуалды және толықтырылған шындық технологияларының қарқынды дамуы іс жүзінде барлық қызмет салаларында орын алуда. Виртуалды және Толықтырылған шындық элементтері Білім беру, медицина, көлік, ойын, туризм және т.б. сияқты салаларда қолданылады. Бұл технологиялардың белсенді таралуы еңбек нарығында ерекше құзыреттердің пайда болуына және соның салдарынан жаңа мамандықтардың қалыптасуына себеп болады.

Көптеген университеттер студенттерді оқытудың IT бағыттары бойынша дайындайды. Виртуалды шындық қосымшалары мен компьютерлік ойындарды әзірлеуге дайындықты профильдеу соңғы уақытта басталды. Практикалық сабақтарды қамтамасыз ету нақты тапсырмалармен қатар жүреді, бұл студенттерге бағдарламалық жасақтама мен техникалық құрылғыларды пайдалануды жақсартуға мүмкіндік береді.

Зерттеудің өзектілігі IT-әзірлеушілердің компьютерлік ойындар жасау саласындағы жаңа технологияларды қолдануына заманауи сұранысқа байланысты. Бүгінгі таңда ойыншыны виртуалды шындыққа ендіруді қамтамасыз ететін технологиялар танымал бола бастады. Осындай технологиялардың бірі-адамның нақты уақыттағы кеңістіктегі орнын бақылайтын дене сенсорлары бар костюм. Алайда, әдебиетте және интернет желісінде нақты сипатталған жобалар аз.

Бұл зерттеу виртуалды шындық технологиясын қолдана отырып, ойын қосымшасын құру бойынша тапсырманы әзірлеу процесін қарастырады: студенттерді оқытуға арналған дене сенсорлары бар костюм мысалға алынған(VR).

Түйін сөздер: компьютерлік ойындар, IT, виртуалды шындық, толықтырылған шындық, дене сенсорлары бар костюм, VR, AR, IMU сенсоры.

Introduction. There are very few real studies of virtual reality in pedagogy and psychology, especially with regard to didactics and the practice of educational influences. Of course, one of the main reasons for this is the complexity, high material costs of these studies not only in our country, but also abroad. A.E.Voiskunsky, emphasizing the need to expand the use of virtual reality (VR), wrote: "A large number of tasks are facing the psychology of learning, or pedagogical psychology. Currently the ways of organizing training, including professional and group, in a virtual environment are only being groped..." [1].

Since the invention of the prototype of the virtual helmet (video helmet) by Ivan Sutherland (Ivan Sutherland) in 1966, ideas about creating "fictional" or virtual worlds appeared. The term "virtual reality" (VR) in programming was used by Jaron Lanier in 1989, this concept has many meanings: from working on the Internet to creating immersive

3-D information environments with the help of complex technological devices – helmets, virtual reality, rooms, sensors, trackers, gyroscopes, servo suits, etc. In pedagogy, VR is mainly used as a special information space where a student can get certain information, make contacts, elements of scientific, educational and project activities. For example, the experience of creating a virtual museum-library, which presents scientific works, articles, creative materials, photo and video materials, memoirs of scientists in different historical periods, modern interactive information resources (forums, video conferences, interactive models, training courses) [2]. The creation of such information resources (such as "databases") with elements of interactivity is a significant direction of modern education, allowing students to master the modeling of ideas of scientists and scientific directions.

Virtual Reality Content. Research methods. In our study, the essence of virtual reality is understood to a greater extent in the traditionally cybernetic (software) sense and is consonant with the opinion of S. Karelov [3]. The essence of VR is reduced to the following main characteristics:

1) creation by means of programming of three-dimensional images of objects as close as possible to real ones, models of real objects similar to holographic ones;

2) the possibility of animation (a subject in virtual space can move, look at an object from different sides, "fly" in the universe, "move" inside a biological cell and etc.);

3) parallel data processing carried out in real time (the actions of the subject, for example, his movements, changing the tilt of the head, changing the image of the object, etc.);

4) the creation of a presence effect by means of programming (a person feels the illusion of assistance in an artificially created information reality with objects and/or subjects).

In general, virtual reality is a technology of human-machine interaction that provides user immersion in a three-dimensional interactive information environment. It should be noted that the objects of this environment are not just qualitatively drawn three-dimensional pictures (scenes), they have certain properties similar to real objects and manifest themselves when interacting with other virtual objects. For example, you can set the density of the material and other characteristics, so if you throw a virtual ball into virtual water, it will float...

In this sense, we do not adhere to the interpretation of virtual reality which S.S.Horuzhnev gave. He says that VR is an "unborn being", i.e. some incomplete, defective [4], although such a moment is present in virtualism. VR acts simply as a special, separate, informational reality, which is designed to simulate ordinary reality. Depending on the goals of the researcher, appropriate properties are introduced into the virtual environment, this determines the degree of saturation of VR, but, of course, it does not fully reproduce the parameters of the objective world (to which the human psyche also belongs).

It should be noted that the VR in question is closely related to psychological developments in the field of visual, tactile, auditory perception, based on them and models the polymodal nature of human perception and the system structure of intelligence (starting with a mental image, working memory, perceptual hypotheses, actions, in general, - a perceptual event or system [5]. A.E. Voiskunsky writes: "Virtual reality (VR), created by visualizing three-dimensional objects using computer graphics, animation and programming methods, is a product of not only information, but also psychological technologies" [6.7]. Probably, for the first time, the influence of super-images created with the help of the Z 800 3D

Visor helmet on human thinking was studied, VR methods were singled out as methods of psychological science [6, 7]. Today, in most of the extremely few VR developments in our country, the authors support the fact that VR technologies act as methods, means and methods of studying and forming psychology [8, 9, 10, 11, 12].

Is it possible to use VR in pedagogy, in particular, in didactics? To date, we do not know of any systematic developments in this area. The publications that exist are of an overview, theoretical nature, in which the possibility of using VR technologies in education is recognized as appropriate. This position is legitimate, although it requires some comments.

1. VR technologies that are currently used in teaching are environmentally friendly, as a rule, even more environmentally friendly than those traditionally used multi-media tools. For example, in our experiments, the Z 800 helmet, in which two monitors placed directly to the eyes consist of an oled material that does not emit any particles at all (except photons of light) and the image is created by changing the crystal lattice of the screen (even liquid crystal computer monitors have, albeit insignificant, radiation), is used.

2. It is common to treat VR with caution, because it is identified with a special world that "takes" the subject away from the real reality, forms virtual addiction, etc. It is necessary to note the brilliant comparative analysis conducted by A.E. Voiskunsky regarding the difference between altered states of consciousness and the state of presence, the basics of VR [7]. A.E. Voiskunsky showed that staying in VR, unlike state of consciousness (caused by hypnosis, chemicals, etc.), does not cause inadequacy of thinking, does not reduce the degree of reflection, is not characterized by the presence of a sense of duality, "alienation of one's own self", "exit from the body", "separation of the body and souls", does not lead to the loss of arbitrariness and purposefulness of activity, does not provide a sense of fictitious acquisition of an interlocutor, a sense of the presence of "another", "higher intelligence", "cosmic informational will". These and other features of VR indicate its advantages (in relation to the traditional, desktop-printed presentation of the content of education), the possibility of using skills in training, education, and other areas, starting from primary school age.

Virtual reality as a tool and technology of learning. VR, in our opinion, also can be considered to be learning tools. In the classical sense, teaching tools are didactic tools of the teacher and student, educational equipment, visual aids [10]. These tools are information carriers that implement learning goals. In this regard, VR involves rather complex technical devices, special equipment, therefore, devices for the implementation of VR are considered as a tool. Unfortunately, to date, there are few training programs in a real virtual environment. This is the reason why virtual reality formally has not yet become a learning tool in the full sense of the word. According to the classification of teaching aids by S.G. Shapovalenko, (natural objects, images and displays, descriptions and TTT – technical training tools), VR is obviously included in the TTT. These provisions relate to the narrow meaning of the concept of "learning tool".

Currently, in pedagogy, especially in the theory of education, it is quite an original approach, where the learning tools are interpreted in a broad sense. For example, work (as an activity) can act as an instrument of personality formation, i.e. education. This happens when labor activity is used not so much for the production of consumer goods, but primarily as an educational instrument which influences on the formation of personality: at the same

time, the analysis of labor results is carried out, the determination of ways to correct mistakes made by students in work, reflection on ways to create more perfect products [11]. In this approach, the educational tools are various types of activities (play, study, work, communication), without which it is impossible to form certain personal qualities of the students, which are the subject of the educational process. Therefore, the tool is not so much the material object itself used in the process of education, but the activity of the students, in which this subject is included.

It is the nature of the student's activity with a particular subject causes him to have certain experiences, feelings and relationships. These experiences and relationships, generalizing, become the basis of character traits, will, personal and subjective qualities. It turns out that the pupil's activity is a means of another, more general activity – educational activity.

With this understanding of the tools of learning, VR also refers to the tools of learning. Work in VR can be considered as a certain type of activity, the subject of this activity is information or information models of real situations. Such activity is not identical to the student's activity with real objects. Probably, the greatest didactic effects will be achieved using the most sophisticated equipment. These are VR - CAVE rooms, consisting of several screens arranged in the shape of a cube, on which images are projected, a student, wearing special glasses, enters the room and sees nothing but the virtual objects surrounding him, which creates the effect of maximum presence. Interpretation of VR as an activity that implements didactic goals, involves training programs for creating avatars – information models in the VR of a person's body or its parts with which he identifies himself and can control them [9,10]. In teaching, this is used inefficiently so far, for example, in distance education, learning environments for joint communication are created, like lecture halls, where each student has his own avatar, which can be set to execute commands - raising his hand, going to the blackboard for an answer or nodding his head [11,12]. Similar VR training systems look like while naive.

Thus, it is advisable to refer to the tools of teaching, on the one hand, as various types of activities (gaming, educational, labor, etc.), and on the other hand, as a set of objects and works of material and spiritual culture involved in pedagogical work (visual aids, works of literature, technical devices, etc.) [11]. Didactic VR programs act as teaching tools in both guises and senses.

VR, used for pedagogical purposes, is also educational technology. Educational technology is a system, a sequence of actions aimed at realizing the goals and objectives of educational concepts. We agree with the opinion of V.I. Zagvyazinsky that, unlike the methodology, educational technology is built as a rigid algorithm of actions, prescriptions that ensure a guaranteed effect, the realization of the goal [8]. Actions within the training programs created by us in genuine VR, have a strictly defined sequence, are aimed at mastering the content education, guaranteed to lead to concrete results. However, the training programs have not yet been designed into a full-fledged technology. If we take into account all the main criteria of educational technologies: consistency, reproducibility and guarantee of results, the presence of feedback, then the last of the signs has not yet been implemented in didactic VR systems. In particular, there is a lack of a control algorithm. This disadvantage, however, is quite easy to overcome, and in VR it can be implemented at the highest instrumental level.

The influence of didactic programs in virtual reality on human thinking and mental states. Earlier, we obtained experimental data that VR images, when they are included as content, a component of the task, significantly affect the increase in creativity (the number of collaterals), and stimulate the procedural characteristics of thinking. There are both direct and indirect forms of interaction between the figurative and cognitive spheres of intelligence, the intermediary in this interaction is the thought processes of analysis, synthesis, generalization [26].

In these programs, the callouts have become much more dynamic, the possibility of animation has been expanded significantly.

All the objects in these training programs are made in 3D, a multiplatform tool for developing three-dimensional applications "Unity" was used for animation. The programmer is V.P. Titov, one of the first to use Unity not to create games, but to implement didactic programs.

As part of the study, the possibilities of a suit with wearable sensors were tested when creating an entertainment application in order to form practical tasks for students.

As a result, a practical task "Implementation of a computer game using a suit with body sensors" was formed and an algorithm for its implementation was proposed:

1. Creating a new game project, game scenario.
2. Character customization.
3. Development of game objects.
4. Assembly.

Below is an example of a task. The game being developed should be a linear level, during which the player standing on the platform will move towards the finish line. Game objects with a certain reaction to interaction with the player will be located on the player's path. The player's goal is to get points by interacting the sword with game objects. The sword will be located in the player's right hand. Along with collecting points, the player's goal will be to protect and evade other game objects, when interacting with which the player will lose points and health points. To protect against some game objects, the player will use a shield attached to his left hand. At the end of the gameplay, the finish line will be located, when interacting with which the game ends and the final score is displayed on the screen. The highest score value is remembered by the game and displayed on the screen as a record result. For clarity, we will display the game process in Figure 1.



Fig. 1 – Diagram of use cases for the game process

Let's describe the use cases for the player. Use cases are presented in Table 1,2.

Table 1

Application use cases

| Acting person | Use case |
|---------------|---|
| Player | Collecting points First aid kit collection Touching the wall Rocket Touch Neutralization of the missile Touch Finish Loss |

Table 2

Example of use case 2

| Use case No. | Use case 1 |
|-------------------|---|
| Title | Collecting points |
| Acting person | Player |
| Prerequisites | On the player's path there are objects, for touching which the player receives points The player does not have zero health points |
| Output conditions | Some value is added to the current scores |
| Normal direction | The player gets closer to the object Touches an object with a sword The object is being destroyed The player is awarded points |
| Priority | Tall |
| Frequency of use | About 20 objects on the game level |

Results. Let's consider the process of forming a computer game. The development was carried out on the Unity game engine version 2019.4.21f1 using Perception Neuron Unity Integration 0.2.19. The Perception Neuron motion capture system for transmitting information about the position of the suit is connected to the official ACCORDING to Axis Neuron [10], where motion sensor data is processed. If necessary, the received data can be redirected to other software, in our case it is the Unity development environment.

1. Creating a scene. Traditionally, as in any software environments for a new project, in our case scenes, in Unity Hub we select the New button. Select the type of project and give it a name. After creating the project, an empty scene will open, we use the selected development package containing scripts, models and much more by Axis Neuron [10].

2. Connecting the suit. At this stage, the suit should be connected using Axis Neuron data transfer protocols. After applying these settings, Axis Neuron software will be able

to transmit data about the position of the suit to the Unity development environment. This completes the setup of the working environment [11].

3. Character customization. To create a 3D humanoid model character, a model from the Perception Neuron development package was used. Next, the Neuron Animator Instance. CS component was applied to refine the settings. In order for our model to interact with other objects, we connected a Collider component for each individual part of the body [12]. Figure 2 shows an example of the resulting character.

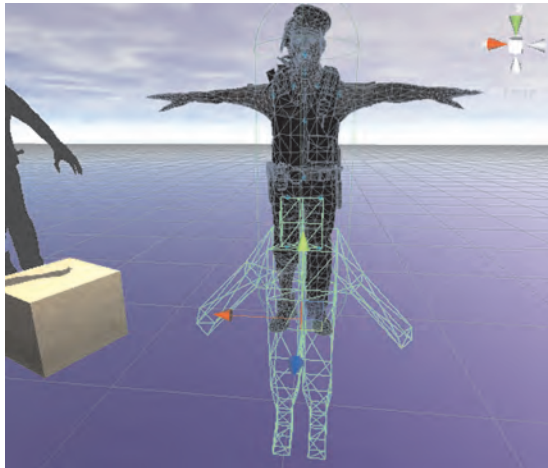


Fig. 2 – Model with Collider components

4. Development of game objects. For drawing game objects, you can use, for example, Blender or 3D-max software.

5. Assembling. If there are already created elements, they can be taken from other projects by importing. Depending on the complexity of a given game scenario, several costumes may be involved, additional sensors and virtual reality glasses may be connected. Integration with various software has been carried out.

The application being developed as part of the laboratory work by students will demonstrate the main capabilities of the costume for creating entertainment elements on the Unity 3D game engine.

A potential user of the application being developed should be provided with free access to the product at a convenient time for him, The main criterion for success may be statistics on views and downloads of implemented application projects, for example, on the platform of the official Unity 3D store. This will indicate an interest in using such technology as a suit with neural sensors.

Placement in the official store will allow the user, if necessary, to purchase additional game components for Unity, such as 3D models, sounds, UI kits, shaders, particles, and more. When visiting the application page and uploading it to their storage, the user will be able to import the necessary components to their project and use them already for their own development.

Students will be able to develop their competencies in this area and start offering their business solutions not only in game development.

Conclusion. The research was carried out as part of laboratory work by students, as well as at a real enterprise as a project in order to gain experience.

The proposed version of the practical task of developing a game application using a suit with IMU sensors establishes the competence of selecting and configuring software, using technical devices, structuring and programming game elements.

Based on the research materials, it is planned to write a textbook on the use of VR/ AR technologies, a suit with wearable sensors for the development of gaming applications or a multimedia training system for students in the field of IT. It is planned to train students in other fields and in the framework of additional training programs.

REFERENCES

1 Smolin A.A., Zhdanov D.D., Potemin I.S. et al. *Sistemy virtual'noy, dopolnennoy i smeshannoy real'nosti* = Systems of virtual, augmented and mixed reality [Internet]. Saint Petersburg: NIU ITMO; 2018. 59 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/136468>. (In Russ.)

2 Torn A. *Osnovy animatsii v Unity* = Fundamentals of animation in Unity [Internet]. Tr. from Eng. R. Ragimova. Moscow: DMK Press; 2016. 176 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/73075>. (cited 10.10.2021). (In Russ.)

3 Larkovich S. N. *Spravochnik UNITY. Kratko, bystro, pod rukoy* = UNITY Handbook. Briefly, quickly, at hand [Internet]. Saint Petersburg: Science and technology; 2020. 288 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/175387>. (In Russ.)

4 Kornilov, A. V. *Unity. Polnoye rukovodstvo* = Unity. Complete guide [Internet]. Saint Petersburg: Science and technology; 2020. 432 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/175394> (cited 10.10.2021). (In Russ.)

5 Rebus N.A., Romanova Ye.V., Kan D.V. The use of game mechanics in training systems. *Distantionnyye obrazovatel'nyye tekhnologii. Materialy II Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii* = Distance educational technologies. Materials of the II All-Russian Scientific and Practical Internet Conference. 2017: 68-74. (In Russ.)

6 Dzhonatan L. *Virtual'naya real'nost' v Unity* = Virtual reality in Unity [Internet]. Tr. from Eng. R.N. Ragimov. Moscow: DMK Press; 2016. 316 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/93271>. (In Russ.)

7 Ostroukh A.V. *Sistemy iskusstvennogo intellekta* = Systems of artificial intelligence [Internet]. Saint Petersburg: Lan; 2021. 228 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/176662>. (In Russ.)

8 Dikinson K. *Optimizatsiya igr v Unity 5* = Optimization of games in Unity 5 [Internet]. Moscow: DMK Press; 2017. 306 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/90109>. (In Russ.)

9 Gavrilova I.V., Maslennikova O.Ye. *Osnovy iskusstvennogo intellekta* = Fundamentals of artificial intelligence [Internet]. Moscow: FLINT; 2019. 283 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/115839>. (In Russ.)

10 Borovskaya Ye.V., Davydova N.A. *Osnovy iskusstvennogo intellekta* = Basics of artificial intelligence [Internet]. Moscow: Laboratory of Knowledge; 2020. 130 p. Available from: <https://e.lanbook.com/book/151502>. (In Russ.)

11 Chusavitina G.N., Davletkireyeva L.Z. Analysis and establishment of the maturity level of the organization's information infrastructure for business continuity management. *Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii i IT-obrazovaniye* = Modern information technologies and IT education. 2012; 8: 529-544. (In Russ.)

12 Mike Walker. *Hype Cycle for Emerging Technologies*, Gartner Group, 2017. *Virtual Expertise at Real Disposal*. Metals & Mining. 2009; 3: 100-114. Available from: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/top-trends-in-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2017>.

**Д. Ж. КАЙБАСОВА^{1,2*}, Л. С. ЛИСИЦЫНА³, Н. И. ТОМИЛОВА²,
Э. К. СЕЙПИШЕВА²**

¹ Astana IT University;

² Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова;

³ Университет ИТМО.

e-mail: *dindgin@mail.ru, lisizina@mail.ifmo.ru, tomilova_kstu@mail.ru, elmira_s89@bk.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО КОНТЕНТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОРПУСА ДОКУМЕНТОВ

Представлены результаты исследования по интеллектуальному сопровождению процесса автоматического извлечения данных из текстовых документов, что позволило сформировать корпус документов для образовательных программ с помощью обработки больших объемов слабоструктурированных текстов без переобработки и адаптации, без трудоёмкой работы по определению соответствующих рабочих планов дисциплин. Предметом исследования является содержание рабочих учебных программ (силлабусов), определяемое как совокупность данных, характеризующих результаты обучения и содержание предмета. В результате работы авторами создан корпус текстов из документов рабочих учебных программ по предметам образовательной программы «Информационные системы». Полученный набор документов позволяет также получить матрицу косинусных расстояний для выявления схожих документов по образовательному контенту рабочих учебных программ.

Ключевые слова: извлечение данных, корпус документов, обработка естественного языка, неструктурированные данные, образовательный контент.

**Д. Ж. КАЙБАСОВА^{1,2*}, Л. С. ЛИСИЦЫНА³, Н. И. ТОМИЛОВА²,
Э. К. СЕЙПИШЕВА²**

¹ Astana IT University, Қазақстан;

² Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан;

³ АТМО Университеті, Ресей Федерациясы.

e-mail: *dindgin@mail.ru, lisizina@mail.ifmo.ru, tomilova_kstu@mail.ru, elmira_s89@bk.ru

ҚҰЖАТТАР КОРПУСЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ ҮШІН БІЛІМ БЕРУ МАЗМҰНЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мәтіндік құжаттардан деректерді автоматты түрде алу процесін зияткерлік қамтамасыз ету бойынша зерттеу нәтижелері ұсынылған, бұл көп жұмысты қажет етпей, қайта өңдеусіз және бейімдеусіз үлкен көлемдегі жартылай құрылымдық мәтіндерден алынған құжаттар корпусын құруға және пәндер бойынша сәйкес жұмыс жоспарларын анықтау мүмкіндік береді. Зерттеу пәні оқу нәтижелері мен оқу пәнінің мазмұнын сипаттайтын деректер жиынтығы ретінде анықталған жұмыс оқу жоспарларының (силлабустардың) мазмұны болып табылады. Жұмыстың нәтижесінде авторлар «Ақпараттық жүйелер» білім беру бағдарламасының пәндері бойынша жұмыс оқу жоспарларының құжаттарынан мәтіндер корпусын құрды. Болашақта жұмыс оқу жоспарларының білім беру мазмұны бойынша ұқсас құжаттарды анықтау үшін косинус қашықтықтарының матрицасын алу жоспарлануда.

Түйін сөздер: деректерді шығару, құжат корпусы, табиғи тілде өңдеу, құрылымдалмаған деректер, білім беру мазмұны.

D. ZH. KAIBASSOVA^{1,2*}, L. S. LISITSYNA³, N. I. TOMILOVA², E. K. SEIPISHEVA²

¹Astana IT University;

²Abylkas Saginov Karaganda Technical University;

³ITMO University.

e-mail: *dindgin@mail.ru, lisizina@mail.ifmo.ru, tomilova_kstu@mail.ru, elmira_s89@bk.ru

RESEARCH OF STRUCTURAL ELEMENTS OF EDUCATIONAL CONTENT FOR FORMING THE CORPUS OF DOCUMENTS

The results of a study on the intellectual support of the process of automatic data extraction from text documents are presented, which made it possible to form a corpus of documents extracted from large volumes of semi-structured texts without reprocessing and adaptation, without requiring much work to determine the appropriate work plans for subjects. The subject of the study is the content of working curricula (syllabuses), defined as a set of data characterizing the learning outcomes and the content of the subject. As a result of the work, the authors created a corpus of texts from documents of working curricula on the subjects of the educational program "Information Systems". In the future, it is planned to obtain a matrix of cosine distances to identify similar documents on the educational content of working curricula.

Key words: data mining, corpus of document, natural language processing, unstructured data, educational content.

Введение. В настоящее время повсеместное применение практически во всех областях деятельности человека цифровых технологий, в том числе в области высшего образования привело к активному росту объема накапливаемой слабоструктурированной информации. Обработка большого объема информации с использованием методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных дает возможность трансформировать хранимые данные в полезную информацию для системы интеграции формирования образовательных программ с профессиональными стандартами, что обеспечивает актуальность данного исследования.

Образовательная программа (ОП) в системе высшего образования разрабатывается в соответствии с действующим Государственным классификатором занятий и утвержденным профессиональным стандартом РК. Рейтинг ОП вузов РК, проведенный НПП «Атамекен» в 2020 г. показал, что востребованность выпускников и удовлетворённость работодателей РК качеством и актуальностью ОП составляет 48%. На мировом пространстве большое внимание уделяется качеству разработке ОП путем интеграции их контента с работодателями, интересы, которых представлены в профессиональных стандартах. В РК каждый вуз самостоятельно, «ручным способом» пытается разработать ОП по направлениям подготовки выпускников.

В образовательной программе, разработанной на основе профессионального стандарта, основные трудовые функции проецируются в профессиональные модули. При этом каждый профессиональный модуль предполагает формирование компетенций, связанных с выполнением основных трудовых функций профессии. Соответственно, компетенции и трудовые функции из профессиональных стандартов трансформируются в профессиональные компетенции и результаты обучения.

Используемые методы на сегодняшний день интеллектуальной поддержки формирования образовательных программ на основе онтологических моделей знаний и систем правил [1-3], эвристических алгоритмов создания автоматизированных учебных планов, методов экспертного оценивания и когнитивных карт не позволяют эффективно учитывать и оперативно контролировать изменения на рынке труда и в пространстве образовательного контента. В свою очередь, формирование и актуализация экспертами онтологических моделей, правил и системы прецедентов по всем текущим предметным областям образовательных программ является весьма трудоемким процессом, требующим привлечения представительного штата экспертов по каждой из предметных областей для обеспечения необходимой точности.

Профессиональные компетенции же описывают набор основных типичных черт какой-либо специальности, определяющих конкретную направленность (профиль) образовательной программы, которые проявляются в умении специалиста решать весь объем профессиональных задач в выбранной сфере деятельности с помощью характерных для данной сферы знаний, умений и навыков. Перечень профессиональных компетенций структурируется в соответствии с теми основными видами профессиональной деятельности, к которым должен быть подготовлен выпускник, например:

- научно-исследовательские;
- проектные;
- производственно-технологические;
- организационно-управленческие компетенции.

Профессиональные компетенции проецируются в профессиональные модули. При построении образовательной программы необходимо учитывать междисциплинарность содержания для того, чтобы исключить дублирования дисциплин. Структурные элементы проектирования образовательной программы, в виде диаграмм процессов, на показаны рисунке 1.

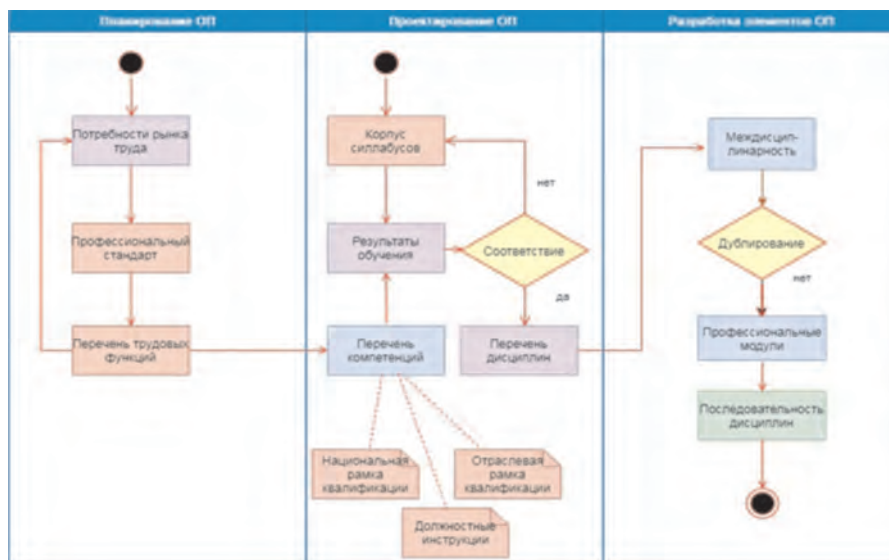


Рисунок 1 – Диаграмма процессов проектирования образовательных программ

На сегодняшний момент проблемой является отсутствие методических указаний у образовательных организаций для получения профессиональных компетенций, сформированных на основе анализа требований рынка труда и профессиональных компетенций в данной сфере деятельности.

Как показано на рисунке 1, структурные элементы образовательной программы взаимосвязаны и формируются поэтапно. Например, для получения элементов профессиональной области на этапе планирования необходимо сформировать базу профессиональных компетенций, полученных на основе анализа профессиональных стандартов и опроса работодателей.

К основным элементам профессионального стандарта относятся [4]:

- наименование направления профессиональной деятельности;
- наименование профессии;
- требования к образованию и опыту работы в рамках ОРК, определяющий квалификационный уровень профессии;
- трудовая функция, определяющая представление совокупности набора трудовых функций, необходимых для достижения определенной задачи;
- требования к умениям и знаниям, необходимых для реализации заявленной трудовой функции.

Рабочая учебная программа (силлабус) (согласно ДП КарГТУ 15-2019) включает в себя следующие элементы:

- сведения о преподавателях;
- описание изучаемой дисциплины;
- цели и задачи дисциплины;
- краткое ее содержание, темы и продолжительность их изучения;
- задания самостоятельной работы, требования преподавателя;
- критерии оценки, график выполнения и сдачи заданий по дисциплине;
- критерии оценки знаний обучающихся;
- перечень основной и дополнительной литературы, информационных ресурсов.

Кроме того, рабочая учебная программа дисциплины содержит варианты контрольных работ, курсовых проектов (работ), заданий для студентов заочной формы обучения.

Отметим важные концепты, которые необходимо учитывать при формировании образовательных программ:

1. Цели и задачи изучаемой дисциплины, компетенции и результаты обучения по образовательной программе, ориентированных на последующую подготовку (постреквизиты) по образовательной программе и место дисциплины в структуре образовательной программы, которое предъявляет входные требования к обучающимся с помощью пререквизитов.

2. Описание структуры дисциплины, представленное её разделами, основными темами дисциплины, целями и содержанием лекционных и практических занятий, а также заданиями на самостоятельную работу обучающихся.

Основная часть представленной информации как в образовательных программах, так и в рабочих программах дисциплин образовательной программы состоит из большого объема слабоструктурированных блоков текста.

Часть из этих блоков представлена в формате таблиц (например, такие как трудоемкость дисциплины, тематический план дисциплины, перечень практических и лабораторных работ) или списков (например, такие как цели и задачи освоения дисциплины и т.д.)

Исследование и выбор метода по отбору текстовых документов, необходимых для ведения обучения, по ключевым компетенциям образовательной программы, невозможен без создания сложных интеллектуальных алгоритмов. Первая часть данных алгоритмов должна предназначена для решения задачи по выделению терминов, характеризующих данную область научного знания, вторая часть для определения сходств этих терминов с онтологией базы знания данной предметной [5, 6]. В настоящее время уже имеется ряд стандартных подходов для извлечения ключевых фраз из отдельных документов, основанных на применении конкретных метрик.

Методы и материалы. Для единообразного понимания вначале определимся с понятием как корпус, корпус текстов. Корпус представляет собой коллекцию взаимосвязанных документов/ текстов на естественном языке [7].

В лингвистике под корпусом понимается подобранный и обработанный по определённым правилам набор текстов, который используется в качестве базы при исследовании языка.

Основное назначение корпусов, их использование в ходе статистического анализа, проверки статистических гипотез, а также при подтверждении лингвистических правил в рассматриваемом языке [8]. Например, авторы работы [9], корпус текстов более широко, как «сформированная по определённым правилам выборка данных из проблемной области», и которая является «видом корпуса данных, единицами которого являются тексты или их достаточно значительные фрагменты».

Видим, что основное назначение текстовых корпусов является изображение совокупности коллекции документов, представленных набором слов, которые подчиняются определённым морфологическим, синтаксическим, семантическим и т.п. правилам [10-12]. Для создания крупных текстовых корпусов необходимы исследовательские группы в специализированных институтах [13-14]

По представленным результатам исследований в работах [7-8] можно утверждать, что, несмотря на широкое использование имеющихся универсальных текстовых корпусов, требуется создание оригинальных коллекций, необходимых для решения частных задач.

Постановка задачи для построения специального корпуса текстов представляет собой процесс извлечения данных из содержимого текстовых файлов рабочих учебных программ дисциплин. Решение задачи, связанное с извлечением информации из текстов, относится к компьютерной лингвистике и машинному обучению, связанных с обработкой естественного языка (natural language processing) [15].

Методы, используемые для обработки естественного языка, представляют собой направления по применению компьютерного анализа и синтеза естественного языка. Этапы, применяемые для анализа естественного языка, можно разбить на несколько уровней. Каждый из следующих уровней в любом случае использует информацию, полученную на нижестоящих уровнях. И каждый из следующих уровней ориентирован на следующие виды анализа текста [11]:

– лексический анализ – это уровень, который предназначен для обработки отдельных фрагментов естественного языка – лексем (слов). На этом этапе происходит разделение текста на отдельные слова или предложения. Также этот этап может включать в себя деобусффикацию искаженных слов, очистку от стоп-слов, т.е. шумовых слов, не несущих полезную информационную нагрузку, или преобразование в лексемы, эмоционально значимых объектов, таких как эмодзи;

– морфологический анализ, уровень предобработки определенных характеристик слова, грамем, например, единственное или множественное число, граммы категории числа. На данном этапе решается две основных прикладных задачи, это лемматизация, т.е. приведение слова к нормальной форме, к лемме и следующая, стемминг, представляющий собой процесс по нахождению основ слова, и не обязательно это корень слова;

– синтаксический анализ, представляет из себя уровень по выделению группы слов и взаимосвязей между этими группами. Результат процесса данного уровня представляет собой древовидную иерархию для каждого предложения из текста;

– семантический анализ, это уровень, который предназначен для смыслового анализа текста. Данный этап анализа предназначен для выделения сарказма или иронии в тексте.

Реализация итеративного процесса, состоящая из двух этапов, стандартным конвейером типичного приложения данных, представленная в работе [16], состоит из сборки и развертывания, изображена на рисунке 2, является отражением конвейера машинного обучения. Вначале на этапе сборки исходные данные необходимо преобразовать в форму, достаточную для передачи этих данных в модели и экспериментов с ними. На этапе развертывания, используемом для оценок и прогнозов пользователям, осуществляется выбор моделей. Первый этап решения задачи служит для автоматической классификации текстов и представляет собой преобразование исходных документов. На этом этапе документы, представляющих собой набор последовательности символов, преобразуются к виду, необходимому и достаточному для алгоритмов машинного обучения в соответствии с целью и задачами классификации. Чаще всего алгоритмам машинного обучения предназначены для работы с векторами в пространстве, которое называют пространством признаков [17]. Второй этап предназначен для построения классифицирующей функции Φ , с помощью обучения на примерах. Здесь качество классификации зависит в первую очередь от того, как документы смогли быть преобразованы в векторное представление, а также и от алгоритма, который используется на втором этапе. При этом отметим, что методы преобразования текста в вектор специфичны для задачи классификации текстов и сильно зависят как от коллекции документов, так и типа текста, простого, структурированного, а также от языка документа.

В отличие от первого этапа, методы машинного обучения, используемые на втором этапе, не специфичны для задачи классификации текстов и могут быть применены и в других областях, например, для задачи распознавания образов [18].

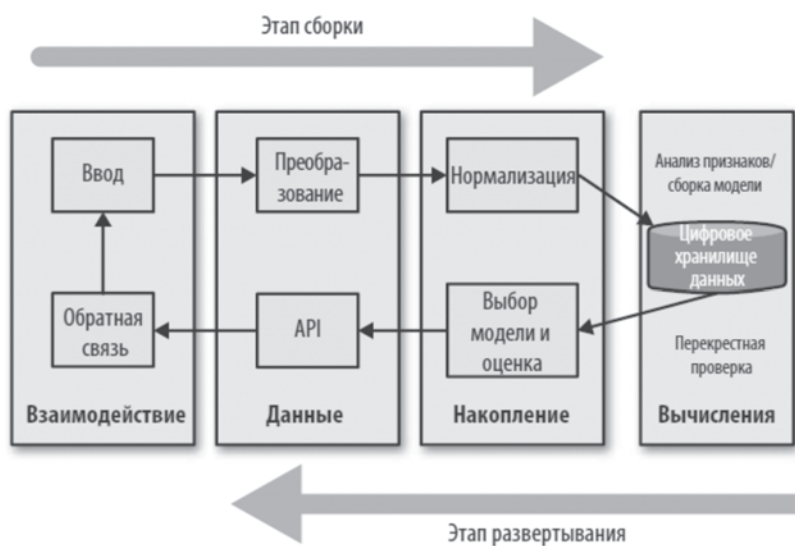


Рисунок 2 – Конвейер приложения данных

Неструктурированная информация должна быть преобразована в хорошо продуманную семантическую модель. Для структурирования предметного содержания квалификационной характеристики рекомендуется создавать ядро системы с использованием онтологической базы знаний [1, 5]. Значительных усилий и времени затрачиваются на разработку базы знаний (БЗ) при разработке интеллектуальных систем, т.е. для накопления знаний, создания модели представления знаний, их структурирования, заполнения БЗ и дальнейшего поддержания ее в актуальном состоянии [19].

База знаний (англ. Knowledge Base, KB), представляющая собой особого рода базу данных, разработана для управления знаниями (метаданными), то есть для сбора, хранения, поиска и выдачи знаний [19]. Анализ работ [9, 11, 15], позволяет определить следующие особенности информационных единиц, представленных в таблице 1, в результате использования которых данные могут быть превращены в знания, т.е. базы данных «перерастают» в базы знаний (БЗ) [5].

Таблица 1 – Виды особенностей информационных единиц

| Вид особенности данных* | Свойство |
|-------------------------------|---|
| 1 | 2 |
| Внутренняя интерпретируемость | Каждая информационная единица должна обязательно иметь своё уникальное имя, по которому бы информационная система смогла находить ее, а также отвечала бы на запросы, в которых это имя встречается |
| Структурированность знаний | Наличие у информационных единиц определенной структуры, т.е. эти структуры должны предоставлять возможность для установления отношений типа, таких как часть – целое или род – вид, или элемент – класс |

Окончание таблицы 1

| 1 | 2 |
|-----------------------|--|
| Связность | Между информационными единицами информационной базы должна быть представлена возможность для установления связи различного типа, характеризующих отношения между информационными единицами |
| Семантическая метрика | Это отношение служит для характеристики ситуационной близости информационных единиц, показывающих силу ассоциативных связей между информационными единицами |
| Активность | Появление новых данных должны стать источником активности интеллектуальной системы, т.е. выполнение программ в ИС должно инициироваться текущим состоянием информационной базы |

*Примечание. Источник [16].

Приведенные особенности предоставляют возможность создать общую модель знаний, называемую «семантическая сеть». Семантическая сеть представляет собой модель знаний, в вершинах которой расположены информационные единицы, а дуги сети отображают виды связей между информационными единицами. В случае иерархичных связей, эти связи определяют отношение структуризации, если связи являются неиерархическими, то они в данном случае определяют отношения иных типов [5, 20].

Результаты и обсуждения. В ходе исследований было принято решение для задач поиска и анализа информации, определения структур и зависимостей в данных, а также для формирования гипотез использовать метод анализа формальных понятий. Так как этот метод является методом анализа данных для визуализации, который с помощью построения решёточной модели особого вида, позволяет сходство группы объектов сохранять в объектно-признаковом описании. Его достоинство состоит в том, что понятия строятся формально, т.е. подмножества слов, связанных друг с другом, связываются с помощью отношения принадлежности «объект – атрибут», в связи с этим данному методу присвоили название анализа формальных понятий.

Для установления же связей между объектами и их свойствами служит формальный контекст. Простой формальный контекст представляет из себя тройку множеств: множество объектов, множество свойств, множество связей между объектами и свойствами.

По результатам работы Ganter B., Stumme G., and Wille R [21], формальным контекстом стали называть тройку вида, представленную в виде (1):

$$K = (G, M, I), \quad (1)$$

где G и M – множества; I – отношение на множестве $G \times M$.

При этом G представляет собой множество объектов, а M есть множество свойств, где gIm означает, что объект g обладает свойством m . Элементы G называются формальными объектами, а элементы M формальными признаками. Эти множества мо-

гут быть частично упорядочены некоторыми отношениями, которые обозначаются \subseteq и \supseteq . Отношение $I \subseteq G \times M$ служит для означения какие объекты какими признаками обладают.

Для определения связей между объектами и атрибутами используем следующий порядок. Для подмножеств $A \subseteq G$ и $B \subseteq M$ объектов и атрибутов задаём отображения, т.е. функции, $A': A \rightarrow B$ и $B': B \rightarrow A$, определяемые операторами Галуа в виде (2):

$$\begin{aligned} A' &= \{m \in M \mid \forall g \in A (g I m)\}, \\ B' &= \{g \in G \mid \forall m \in B (g I m)\} \end{aligned} \quad (2)$$

В случае, если пара множеств (A, B) такие, что $A'=B$, $B'=A$, то их называют формальным понятием контекста K .

Оператор $"$, т.е. двукратное применение оператора $'$, служит оператором замыкания: он идемпотентен, если $A''' = A'$, он монотонен, если $A \subseteq B$ влечет $A'' \subseteq B''$ и он экстенсивен, если $A \subseteq A''$. Множество объектов $A \subseteq G$ называется замкнутым, если $A'' = A$. Аналогично и для замкнутых множеств признаков, подмножеств множества M . Пара множеств (A, B) , называется формальным понятием контекста K , если $A \subseteq G$, $B \subseteq M$, $A' = B$ и $B' = A$. Множества A и B замкнуты и называются объемом и содержанием формального понятия (A, B) соответственно. Для множества объектов A множество их общих признаков A' служит описанием сходства объектов из множества A , а замкнутое множество A'' является кластером сходных объектов, с множеством общих признаков A' . Отношение "быть более общим понятием" задаем следующим образом: $(A, B) \geq (C, D)$ тогда и только тогда, если $A \supseteq C$.

Понятия формального контекста $K = (G, M, I)$, упорядоченные по вложению объемов, образуют решетку $B(G, M, I)$, которую так и стали называть – решеткой понятий.

Таким образом была построена структурная модель для реализации методов интеллектуального анализа текстов, представленная на рисунке 3.

В структурной модели отражены основные процессы работы программного комплекса. Текстовый корпус формируется из коллекции рабочих учебных программ дисциплин образовательных программ, который в свою очередь, является входной информацией. На процессе предобработки данных осуществляется нормализация текстов, реализованная методами удаления различных символов, в том числе, цифр и знаков препинания, а также исключения множества вспомогательных слов, импортированных как шумовые слова (стоп-слова) из библиотеки для работы с естественным языком NLTK. Впоследствии нормализации получаем «мешок слов» для последующего проведения анализа. На следующем этапе формируем векторную модель, основанную на частотном и весовом анализе употребления слов в документах, а также получение матрицы косинусных расстояний для выявления схожих документов по образовательному контенту рабочих учебных программ.

Заключение. Исследования и анализ процесса разработки образовательных программ в соответствии с требованиями современных образовательных и профессиональных стандартов позволили систематизировать жизненный цикл образовательной программы в учебных организациях. Проведённый обзор существующих интеллектуальных методов поддержки принятия решений, используемых при формировании



Рисунок 3 – Структурная модель интеллектуальной системы анализа текстов

образовательных программ и анализе рынка труда, позволил определить ключевые проблемы сопоставления профессиональной области и образовательной программы. Результаты исследованных структурных элементов образовательной программы, послужили одним из элементов стартового этапа для формирования векторной модели, основанной на частотном и весовом анализе употребления слов в документах, а также получения матрицы косинусных расстояний для выявления схожих документов по образовательному контенту рабочих учебных программ.

Благодарность. Исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19677319).

ЛИТЕРАТУРА

1 Bakanova A., Letov N.E., Kaibassova D., Kuzmin K.S., Loginov K.V., Shikov A.N. The use of Ontologies in the Development of a Mobile E-Learning Application in the Process of Staff Adaptation // International Journal of Recent Technology and Engineering. Vol. 8, Issue-2S10, September. 2019. - pp. 780–789.

2 Chung H., Kim J. An Ontological Approach for Ssemantic Modelling of Curriculum and Syllabus in Higher Education // International Journal of Information and Education Technology. Vol. 6, no. 5. 2016. - pp. 365–369.

3 Oprea M. On the Use of Educational Ontologies as Support Tools for Didactical Activities // Proceedings of the International Conference on Virtual Learning (ICVL2012), Nov. 2012. - pp. 67–73.

4 Ботов Д.С. Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки формирования образовательных программ по требованиям рынка труда на основе нейросетевых моделей языка :

диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.10 / Ботов Дмитрий Сергеевич; [Место защиты: Уфим. гос. авиац. техн. ун-т]. - Челябинск, 2019. - 160 с.

5 Кайбасова Д.Ж., Ла Л.Л. Методы и модели описания предметной области для разработки интеллектуальной системы в контексте формирования образовательных траекторий // Вестник Семипалатинского государственного университета им. Шакарима. – 2019. – №1(85). – С. 78-83.

6 Кайбасова Д.Ж. Применение онтологического моделирования для формирования образовательных траекторий // Инновационные IT и Smart-технологии: матер. науч. конф., посв. 70-летию юбилею И.Т. Утепбергенова. – Алматы, 2019. – С. 149-152.

7 Litvinova T., Zagorovskaya O., Litvinova O. Russian text corpora for deception detection studies // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 11. – P. 58-63.

8 Zevakhina N., Dzhakupova S. Russian metalinguistic comparatives: a functional perspective: working papers by NRU HSE. – М., 2015. – 30 p.

9 Sojka P., Liška M., Ružicka M. Building Corpora of Technical Texts: Approaches and Tools // Proceed. 5th Workshop on Recent Advances in Slavonic Natural Languages Processing. – Brno, 2011. – pp. 71-82.

10 Shang J. et al. Automated phrase mining from massive text corpora // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2018. – Vol. 30, Issue 10. – pp. 1825-1837.

11 Большакова Е.И., Воронцов К.В., Ефремова Н.Э. и др. Автоматическая обработка текстов на естественном языке и анализ данных – М.: Изд-во НИУ ВШЭ, 2017. – 269 с.

12 Воронцов К.В. Вероятностное тематическое моделирование: лекции по Машинному обучению // <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/22/Voron-2013-ptm.pdf>. 12.03.2019.

13 Roll U., Correia R. A., Berger Tal O. Using machine learning to disentangle homonyms in large text corpora // Conservation Biology. – 2018. – Vol. 32, №3. – P. 716-724.

14 Campillos L., Deléger L., Grouin C. et al. A French clinical corpus with comprehensive semantic annotations: development of the Medical Entity and Relation LIMS annotated Text corpus (MERLOT) // Language Resources and Evaluation. – 2018. – Vol. 52(2). – P. 571-601.

15 Глазкова А.В. Формирование текстового корпуса для автоматического извлечения библиографических фактов из русскоязычного текста // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Vol. 7, №1. – P. 97-103.

16 Бенгфорт Б., Билбро Р., Охеда Т. Прикладной анализ текстовых данных на Python: машинное обучение и создание приложений обработки естественного языка. – СПб.: Питер, 2019. – 363 с.

17 Агеев М.С. Методы автоматической рубрикации текстов, основанные на машинном обучении знаниях экспертов. – дис. канд. физ.-матем. наук: 05.13.11. – М., 2004. – 136 с.

18 Кайбасова Д.Ж. Предварительная обработка коллекции рабочих учебных программ дисциплин для формирования корпуса текстов // Вестник КазННТУ. – 2019. – №6(136). – С. 541-546.

19 Коровин А.М. Интеллектуальные системы: текст лекций. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 60 с.

20 Кайбасова Д.Ж., Ла Л.Л. Ассоциативные правила при поиске признаковых зависимостей для интеллектуального анализа данных // Вестник КазННТУ. – 2019. – №2(132). – С. 247-251.

21 Ganter B., Stumme G., Wille R. Formal concept analysis: foundations and applications. – Berlin: Springer Science & Business Media, 2005. –349 p.

REFERENCES

1 Bakanova A., Letov N.E., Kaibassova D., Kuzmin K.S., Loginov K.V., Shikov A.N. The use of Ontologies in the Development of a Mobile E-Learning Application in the Process of Staff Adapta-

tion // International Journal of Recent Technology and Engineering. Vol. 8, Issue-2S10, September. 2019. – pp. 780-789.

2 Chung H., Kim J. An Ontological Approach for Ssemantic Modelling of Curriculum and Syllabus in Higher Education // International Journal of Information and Education Technology. Vol. 6, no. 5. 2016.– pp. 365-369.

3 Oprea M. On the Use of Educational Ontologies as Support Tools for Didactical Activities // Proceedings of the International Conference on Virtual Learning (ICVL2012), Nov. 2012. – pp. 67-73.

4 Botov D.S. Metody i algoritmy intellektual'noj podderzhki formirovaniya obrazovatel'nyh programm po trebovaniyam rynka truda na osnove nejrosetevykh modelej yazyka : dissertaciya ... kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.13.10 / Botov Dmitriy Sergeevich; [Mesto zashchity: Ufim. gos. aviac. tekhn. un-t]. – Chelyabinsk, 2019. – 160 s.

5 Kajbasova D.Zh., La L.L. Metody i modeli opisaniya predmetnoj oblasti dlya razrabotki intellektual'noj sistemy v kontekste formirovaniya obrazovatel'nyh traektorij // Vestnik Semipalatin-skogo gosudarstvennogo universiteta im. Shakarima. – 2019. – №1(85). – S. 78-83.

6 Kajbasova D.Zh. Primenenie ontologicheskogo modelirovaniya dlya formirovaniya obrazovatel'nyh traektorij // Innovacionnye IT i Smart-tehnologii: mater. nauch. konf., posv. 70-letnemu yubileyu I.T. Utepbergenova. – Almaty, 2019. – S. 149-152.

7 Litvinova T., Zagorovskaya O., Litvinova O. Russian text corpora for deception detection studies // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – Vol. 5, Issue 11. – P. 58-63.

8 Zevakhina N., Dzhakupova S. Russian metalinguistic comparatives: a functional perspective: working papers by NRU HSE. – M., 2015. – 30 r.

9 Sojka R., Liška M., Ružicka M. Building Corpora of Technical Texts: Approaches and Tools // Procced. 5th Workshop on Recent Advances in Slavonic Natural Languages Processing. – Brno, 2011. – pp. 71-82.

10 Shang J. et al. Automated phrase mining from massive text corpora // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. – 2018. – Vol. 30, Issue 10. – pp. 1825-1837.

11 Bol'shakova E.I., Voroncov K.V., Efremova N.E. i dr. Avtomaticheskaya obrabotka tekstov na estestvennom yazyke i analiz dannyh – M.: Izd-vo NIU VShE, 2017. – 269 s.

12 Voroncov K.V. Veroyatnostnoe tematicheskoe modelirovanie: lekciy po Mashinnomu obucheniyu // <http://www.machinelearning.ru/wiki/images/2/22/Voron-2013-ptm.pdf>. 12.03.2019.

13 Roll U., Correia R. A., Berger Tal O. Using machine learning to disentangle homonyms in large text corpora // Conservation Biology. – 2018. – Vol. 32, №3. – P. 716-724.

14 Campillos L., Deléger L., Grouin C. et al. A French clinical corpus with comprehensive semantic annotations: development of the Medical Entity and Relation LIMSIS annotated Text corpus (MERLOT) // Language Resources and Evaluation. – 2018. – Vol. 52(2). – P. 571-601.

15 Glazkova A.V. Formirovanie tekstovogo korpusa dlya avtomaticheskogo izvlecheniya bibliograficheskikh faktov iz ruskoyazychnogo teksta // International Journal of Open Information Technologies. – 2019. – Vol. 7, №1. – R. 97-103.

16 Bengfort B., Bilbro R., Oheda T. Prikladnoj analiz tekstovykh dannyh na Python: mashinnoe obuchenie i sozdanie prilozhenij obrabotki estestvennogo yazyka. – SPb.: Piter, 2019. – 363 s.

17 Ageev M.S. Metody avtomaticheskoy rubrikacii tekstov, osnovannye na mashinnom obuchenii znaniyah ekspertov. – dis. kand. fiz.-matem. nauk: 05.13.11. – M., 2004. – 136 s.

18 Kajbasova D.Zh. Predvaritel'naya obrabotka kollekcii rabochih uchebnykh programm disciplin dlya formirovaniya korpusa tekstov // Vestnik KazNITU. – 2019. – №6(136). – S. 541-546.

19. Korovin A.M. Intellektual'nye sistemy: tekst lekcij. – Chelyabinsk: Izdatel'skij centr YuUr-GU, 2015. – 60 s.

20. Kajbasova D.Zh., La L.L. Associativnye pravila pri poiske priznakovykh zavisimostej dlya intellektual'nogo analiza dannyh // Vestnik KazNITU. – 2019. – №2(132). – S. 247-251.

21. Ganter B., Stumme G., Wille R. Formal concept analysis: foundations and applications. – Berlin: Springer Science & Business Media, 2005. – 349 r.

**А.Т. КАЛБАЕВА¹*, Е.Т. БАРМАҒАНБЕТОВ¹, Ж.Р. УМАРОВА¹,
С.Д. КУРАКБАЕВА¹, М.А. АМАНДИКОВ², И.К. БАЙНАЗАРОВА¹**

¹М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан;

²Ә.Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Шымкент, Қазақстан
e-mail: *kalbaeva@mail.ru; barmaganbetov.erkulan@gmail.com

IP-МЕКЕНЖАЙ ПУЛЫН ІШКІ ЖЕЛІЛЕРГЕ БӨЛУДІ АВТОМАТТАНДЫРУ: ТИІМДІ БАСҚАРУ

Мақалада құрылғылар мен қызметтердің саны артқан сайын IP-мекенжайларына сұраныстың артуына байланысты маңыздылығы артып келе жатқан IP-мекенжайы мен ішкі желіні басқарудың тиісті саласы қарастырылады. Ол осы өсіп келе жатқан сұранысқа байланысты IP-мекенжайлар пулын тиімді басқару қажеттілігін сипаттайды. Желілердің өсіп келе жатқан күрделілігі мен масштабына негізделген желінің өнімділігі мен сенімділігін оңтайландыру үшін ішкі желілерге IP-мекенжайлар пулын сегменттеудегі қолмен әдістерден автоматтандырылған процестерге көшуге басты назар аударылады. Желілік инфрақұрылымды кеңейту жағдайында дәстүрлі әдістердің шектеулері мен тиімсіздігін көрсете отырып, IP-мекенжайлары мен ішкі желілерді қолмен есепке алумен байланысты әртүрлі аспектілер мен мәселелер қарастырылады. Ішкі желілерді құру мен басқаруды автоматтандыруға арналған құралдар мен бағдарламалық қамтамасыз ету шешімдерінің жиынтығы туралы түсінік бере отырып, бұл процесті автоматтандыру қажеттілігіне баса назар аударылады. Оларға IP-мекенжайларын басқарушылар, ДНСР серверлері және IP-мекенжайларын автоматты түрде есепке алуға және басқаруға көмектесетін басқа заманауи құралдар кіреді. Мақалада автоматтандырылған IP-мекенжайларын басқару жүйесін енгізу әдістері мен практикалық қадамдары қарастырылады. Бұл процесс желі талаптарын анықтауды, сәйкес құралдарды таңдауды, IP- мекенжайын және ішкі желі құру стратегияларын жоспарлауды, мониторинг және бухгалтерлік есеп жүйелерін орнатуды қамтиды.

Түйін сөздер: автоматтандыру, желі, IP-мекенжайы, IP-мекенжай пулы, ішкі желі, ішкі желі маскасы, желілік инфрақұрылым, бағдарламалық құрал.

**А. Т. КАЛБАЕВА¹*, Е. Т. БАРМАҒАНБЕТОВ¹, Ж. Р. УМАРОВА¹,
С. Д. КУРАКБАЕВА¹, М. А. АМАНДИКОВ², И. К. БАЙНАЗАРОВА¹**

¹Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²Университет Дружбы народов им.А.Куатбекова, Шымкент, Казахстан.
e-mail: *kalbaeva@mail.ru; barmaganbetov.erkulan@gmail.com

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПУЛА IP-АДРЕСОВ НА ПОДСЕТИ: ЭФФЕКТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

В статье исследуется актуальная область управления IP-адресами и подсетями, которая становится все более важной в связи с растущим спросом на IP-адреса по мере увеличения количества устройств и сервисов. В нем описывается необходимость эффективного управления пулом IP-адресов в связи с растущим спросом. Основное внимание уделяется переходу от ручных методов к автоматизированным процессам сегментирования пула IP-адресов на подсети для оптимизации производительности и надежности сети, что обусловлено растущей сложностью

и масштабом сетей. Рассмотрены различные аспекты и проблемы, связанные с ручным учетом IP-адресов и подсетей, подчеркнуты ограничения и неэффективность традиционных методов на фоне расширения сетевой инфраструктуры. Подчеркивается необходимость автоматизации этого процесса, что дает представление о наборе инструментов и программных решений, доступных для автоматизации создания и управления подсетями. К ним относятся менеджеры IP-адресов, DHCP-серверы и другие современные инструменты, помогающие в автоматическом учете и управлении IP-адресами. В статье подробно описаны методы и практические шаги по внедрению автоматизированной системы управления IP-адресами. Этот процесс включает в себя определение требований к сети, выбор подходящих инструментов, планирование стратегий IP-адресации и подсетей, а также настройку систем мониторинга и учета.

Ключевые слова: автоматизация, сеть, IP-адрес, пул IP-адресов, подсеть, маска подсети, сетевая инфраструктура, программное обеспечение.

**A. T. KALBAYEVA^{1*}, Y. T. BARMAGANBETOV¹, ZH. R. UMAROVA¹,
S. D. KURAKBAYEVA¹, M. A. AMANDIKOV², I. K. BAINAZAROVA¹**

¹M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan;

²Peoples' Friendship University named by A. Kuatbekov, Shymkent, Kazakhstan.

e-mail: *kalbaeva@mail.ru; barmaganbetov.erkulan@gmail.com

AUTOMATION OF DIVISION OF AN IP ADDRESS POOL INTO SUBNETS: EFFICIENT MANAGEMENT

The article explores the relevant field of IP address and subnet management, which is becoming increasingly important due to the growing demand for IP addresses as the number of devices and services increases. It describes the necessity for efficient management of the IP address pool due to this growing demand. The primary focus is on the transition from manual methods to automated processes in segmenting the IP address pool into subnets to optimize network performance and reliability, driven by the growing complexity and scale of networks. Various aspects and problems associated with manual accounting of IP addresses and subnets are considered, highlighting the limitations and inefficiency of traditional methods against the backdrop of expanding network infrastructure. The need for automation of this process is emphasized, providing insights into the array of tools and software solutions available for automating subnet creation and management. These include IP address managers, DHCP servers, and other modern tools that assist in automatic accounting and management of IP addresses. The article elaborates on the methods and practical steps for implementing an automated IP address management system. This process involves defining network requirements, choosing suitable tools, planning IP addressing and subnetting strategies, and setting up monitoring and accounting systems.

Key words: Automation, network, IP address, IP address pool, subnet, subnet mask, network infrastructure, software.

Кіріспе. Заманауи ұйымдар мен кәсіпорындарда желілік ресурстарға деген тәуелділік күн санап артуда. Бұған себеп IP-мекенжайларын пайдаланатын құрылғылар мен қызметтер санының артуы. Соның салдарынан IP-мекенжайлар пулын тиімді басқару қажеттілігі туындауда. Желілік инфрақұрылымды оңтайландыру мен үздіксіз жұмысын қамтамасыз ету процесінің маңызды бөлігі IP-мекенжай пулын ішкі желілерге бөлу болып табылады.

Желілердің қарқынды дамуы және олардың функционалдық мүмкіндіктерінің кенеюі бірнеше негізгі сұрақтарды тудырады: Ұйымдар уақыт өте келе күрделіленген

желілік топологияларды және құрылғылардың санының артуына байланыста IP-мекенжай ресурстарын қалай тиімді басқара алады? IP-пулын ішкі желілерге бөлу процесін автоматтандырудың қандай әдістері мен құралдары бар және олар қандай пайда әкелуі мүмкін [1] ?

Бұл мақала IP-мекенжайларының пулын ішкі желіге бөлу процесін есепке алу және автоматтандыру бойынша зерттеу және практикалық ұсыныстар болып табылады. Біз IP- мекенжайларын және ішкі желіні қолмен есепке алу үшін қолданыстағы әдістер мен құралдарды қарастырудан бастаймыз. Айта кету керек, IP-мекенжайларын есепке алу және ішкі желілерді бөлу тақырыбы кеңінен зерттелгенімен, көптеген әртүрлі тәсілдер мен тәжірибелер бар және көбінесе барлық ұйымдар мен сценарийлер үшін қолайлы әмбебап шешім жоқ.

Заманауи кәсіпорындарда өз қызметін жүзеге асыру барысында желілік ресурстарға көбірек тәуелді болып отыр. Бұған құрылғыларды желіге қосу, Интернетке қосылуды қамтамасыз ету, деректермен алмасу және IP-мекенжайларын қажет ететін тағы басқа қызметтер кіреді. IP-мекенжайларын басқару және оларды ішкі желілерге бөлу желілік әкімшілендірудің маңызды аспектілері болып табылады. [2] Бұл мақалада біз зерттеуіміздің бірінші бөлімін ұсынамыз, ол IP-мекенжайларын есепке алудың қолданыстағы әдістеріне шолу жасауға және IP мекенжайларының пулын ішкі желілерге қолмен бөлуге арналған.

Дәстүр бойынша, IP-мекенжайларды ішкі желілерге бөлу қолмен орындалатын әдістер мен құралдарды пайдалана отырып жүзеге асырылады. Желі әкімшілері желі құрылымын анықтайды, ішкі желілер мен IP-мекенжайларының қажетті санын есептейді, содан кейін желілік жабдықты қолмен конфигурациялайды. Бұл процесс бастапқы кезеңдерде тиімді болғанымен, құрылғылар санының артуына және желінің күрделіленуіне байланысты қиынға түсері анық.

IP-мекенжайларын есепке алу және ішкі желілерді бөлу процесін автоматтандыруға арналған құралдар бар. Оларға мысал ретінде IP-мекенжайларын басқарушылар және DHCP серверлері қарастыруға болады. Дегенмен, олардың жылдам өзгеретін талаптарға және дамып келе жатқан желілік сценарийлерге бейімделу мүмкіндіктері шектеулі болуы мүмкін.

Құрылғылар санының артуымен және желілік топологияның күрделілігімен IP-адресстер мен ішкі желілерді есепке алудың дәстүрлі әдістері бірқатар шектеулерге тап болады. IP- ресурстарын тиімді басқару ауқымды мәселеге айналады, оны қолдау үшін көп ресурстар мен уақыт қажет [3].

IP-мекенжайларын есепке алу және қосалқы желілер желіні басқарудың негізгі аспектілері болып табылады. IP-мекенжай пулын қолмен бөлу құрылғылардың аз санымен және қарапайым желі топологиясымен тиімді болуы мүмкін. Дегенмен, құрылғылар санының артуына және желінің күрделілігіне байланысты бұл көп уақытты қажет ететін және тиімділігі төмен процеске айналады [4].

IP-пулын ішкі желілерге қолмен бөлу: Қолданыстағы IP-мекенжайлар пулын әртүрлі ұзындықтағы ішкі желілерге бөлуді CIDR (Classless Inter-Domain Routing/Класссыз доменаралық маршруттау) әдістемесі арқылы жүзеге асыруға болады. CIDR IP- мекенжайларын және ішкі желілерді икемді басқаруға мүмкіндік береді. Формула арқылы IP- пулын ішкі желілерге бөлу процесін қарастырайық және егжей-тегжейлі сипаттама жасап көрейік [5].

1-қадам: Бастапқы IP-мекенжайын және ішкі желі ұзындығын анықтаңыз

Сізде бастапқы IP-мекенжайыңыз бар делік (мысалы, 192.168.1.0) және оны әртүрлі ұзындықтағы ішкі желілерге бөлгіңіз келеді. Сондай-ақ ішкі желі ұзындығын CIDR белгісі түрінде анықтаңыз (мысалы, стандартты C класындағы ішкі желі үшін /24).

2-қадам: Ішкі желілерге бөлу

Әр түрлі ұзындықтағы ішкі желілерге бөлу үшін келесі формуланы (1) колдануға болады:

$$\text{Ішкі желілер саны} = 2^{(n - L)} \quad (1)$$

n – бастапқы ішкі желінің ұзындығы (мысалы, IPv4 үшін 32); L – CIDR белгісімен өрнектелген жаңа ішкі желі ұзындығы (мысалы, /24).

Бұл формула желі ұзындығын қысқарту арықылы қанша ішкі желі алуға болатынын анықтауға мүмкіндік береді.

3-қадам: Әрбір ішкі желінің көлемін есептеңіз.

Ішкі желілердің санын анықтағаннан кейін әрбір ішкі желінің көлемін есептеуге болады. Ішкі желінің өлшемі оның құрамындағы IP-мекенжайларының саны ретінде анықталады және оны формулада (2) көрсетуге болады:

$$\text{Ішкі желі өлшемі} = 2^{(32 - L)} \quad (2)$$

4-қадам: IP-пулын бөлу.

Енді сіз ішкі желілердің санын және әрқайсысының көлемін білетін болсаңыз, бастапқы IP-пулыңызды осы ішкі желілерге бөлуге болады. Бастапқы IP-мекенжайыңыздан бастаңыз және әрбір ішкі желінің бастапқы мекенжайын табу үшін оны ішкі желі өлшеміне көбейтіңіз. Бұл процесті әрбір ішкі желі үшін қайталау керек [6].

Бұл әдіс желі құрылымын анықтауды, ішкі желілер мен IP-мекенжайларының қажетті санын есептеуді, сондай-ақ маршрутизаторлар мен коммутаторларды қоса алғанда, желілік жабдықты қолмен конфигурациялауды қамтиды. Бұл әдіс толық бақылауды қамтамасыз етеді, бірақ оны орындау үшін көп күш пен уақыт қажет [7].

Автоматтандырылған есеп және IP-мекенжайларын бөлу желіні басқаруды айтарлықтай жеңілдетеді және оның тиімділігін арттырады. Мұнда есеп пен IP-мекенжайларын бөлудің автоматтандырылған жүйесін енгізудің практикалық қадамдары берілген:

1. Талаптарды айқындау: Желіңіздің қажеттіліктерін анықтаудан бастаңыз. Онда қанша құрылғы қосылған немесе жоспарланған? Қызметтер мен қосымшалардың қандай түрлері пайдаланылады? Трафикті бөлу үшін қандай ішкі желілер қажет?

2. Құралды немесе бағдарламалық жасақтаманы таңдау: IP мекенжайларын есепке алуды автоматтандыруға арналған қолжетімді құралдар мен бағдарламалық жасақтамаларды зерттеңіз. Желілік инфрақұрылымыңызға және қажеттіліктеріңізге байланысты IP- мекенжайларын басқару (IPAM) құралдарын, біріктірілген DHCP/ DNS жүйелерін немесе жеке өндірушілердің шешімдерді қарастыруыңызға болады. Сіздің талаптарыңызға сәйкес келетін құралды таңдаңыз.

3. Үздіксіз қызмет көрсету және жаңарту: IP-мекенжайларын есепке алу және бөлу жүйесі енгізілгеннен кейін оның жұмысын бақылауды жалғастырыңыз және желі талаптарының өзгеріне және құрылғылар санының өсуіне сәйкес жаңартыңыз.

Автоматтандырылған есеп пен IP-мекенжайларын бөлуді жүзеге асыру мұқият жо-спарлауды және конфигурацияны қажет етеді. Алайда ол желіні басқаруды айтарлықтай жеңілдетуге және жақсартуға, қателер ықтималдығын азайтуға және желіні басқаруды тиімдірек етуге және өзгерістерге бейімделуге мүмкіндік береді [8].

Зерттеудің әдістемесі. Жоғарыда талқыланған шешімдер шағын ұйымдар үшін өте тиімді болуы мүмкін. Дегенмен, IP-мекенжайларының үлкен пулын әртүрлі ұзындықтағы ішкі желілерге бөліп, оларды әртүрлі аймақтарға орналасқан филиалдарда қолдану қажет болғанда, күрделірек тапсырмалар туындайды. Осы мәселелерді ойдағыдай шешу үшін біз "IP Database" деп аталатын ақпараттық жүйені жасадық.

"IP Database" ақпараттық жүйесі – IP-желілерін ішкі желілерге бөлуді, есепке алуды қамтамасыз ететін және әрбір филиал туралы маңызды ақпаратты дерекқорда сақтауға мүмкіндік беретін мамандандырылған бағдарламалық құрал. Бұл құрал IP-мекенжайларының үлкен пулдарын тиімді басқаруға және таратылған корпоративтік желілерде оларды оңтайлы пайдаланылуын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

"IP Database " ақпараттық жүйесінің негізгі ерекшеліктері:

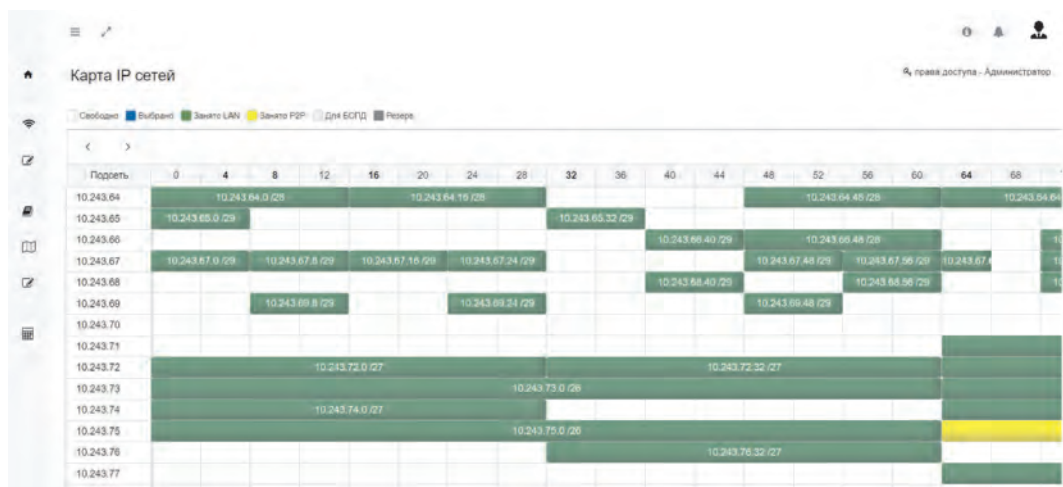
Ішкі желіні визуализациялау және желіні сегменттеу: Жүйе қолданыстағы ішкі желілердің нақты визуалды көрінісін, сонымен қатар желі ішінде пайдаланылған және қол жетімді сегменттердің графикалық көрінісін ұсынады. Бұл мүмкіндік компания ішіндегі желіні басқаруды жеңілдетеді.

IP-желісінің картасы: Деректер қорына қолжетімді IP-пулдары (/24 немесе 255.255.255.0 маскасын пайдалану арқылы) туралы ақпаратты енгізген соң ақпараттық жүйе бұл деректерді "IP желі картасына" бөлімінде орналастырады. Бұл карта кестелік пішімде ұсынылған. Мұнда бірінші бағанда әрқайсысы бөлек жолда /24 маскасында барлық қолжетімді ішкі желілер тізімделген. Кестенің үстіңгі бөлігінде деректеме бағандары 4 интервал қадамымен 0-ден 252-ге дейінгі сандық мәндерді көрсетеді, бұл қолданыстағы ішкі желіні тиімді бөлуді жеңілдетеді.

Тиімді ішкі желі бөлімшесі: желінің 4 интервал қадамымен 0-ден 252-ге дейінгі сандық мәндерді көрсетуі арнайы шешім болып табылады. Бұл шешім берілген ішкі желіні максималды бөлуге мүмкіндік береді. Жүйеде қол жеткізуге болатын ең кіші ішкі желі /30 маскасына сәйкес келеді және 4 IP мекенжайын қамтиды. Мұндай ішкі желіде бірінші IP - желі мекенжайы, ал соңғы IP - резервтелген хабар тарату мекенжайы ретінде пайдаланылады[9].

/30 маскасын пайдаланудағы шектеулерін ескерсек қолданысқа үшін тек 2 IP-мекенжайы қолжетімді. Осы аталған ерекшелікке байланысты желіні бөлу үшін /32 маскасын пайдалана алмайтынымызды түсіну маңызды, себебі /32 маскасы бар желі тек 1 мекенжайдан тұрады және оның резервтелген хабар тарату мекенжайы жоқ [10].

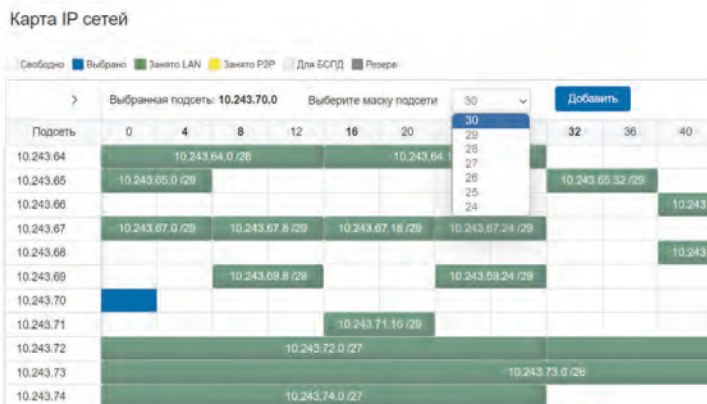
IP желілерін және олардың сегменттерін бейнелеудің графикалық тәсілі (Сурет 1) желі құрылымын ыңғайлы әрі көрнекі түсінуді қамтамасыз етеді. Бұл корпоративтік желідегі IP- мекенжайлары мен ішкі желілерді басқаруды жеңілдетеді, яғни қай сегменттердің қазіргі таңда қолданыста екенін және қайсысының бос екенін жылдам анықтауға мүмкіндік береді. Бұл визуализация желі ішіндегі өзгерістер мен сұрауларға жылдам және тиімді жауап беруге және оның үздіксіз жұмысын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.



Сурет 1 – "IP Database" ақпараттық жүйесі "IP желісінің картасы" бөліміндегі ішкі желілердің пайдалану визуализациясы

Ақпараттық жүйеде ішкі желілерді пайдалану үшін мына қадамдарды орындау қажет. Алдымен қажетті ішкі желі анықтап, сол желідегі бос ұяшықты таңдаңыз. Таңдалған ішкі желіге байланысты жүйе автоматты түрде қолдануға болатын масқалардың тізімін ұсынады. Жүйе автоматты түрде таңдалынатын желі масқаларының дұрыстығын тексереді және жүйеде бұрын тіркелген ішкі желі IP-мекенжайларының қайшылықтары мен қиылыстарын болдырмауды ескереді.

Мысалы, 10.243.70.0 ішкі желісін таңдасаңыз (Сурет 2 қараңыз), жүйе ішкі желі масқасы ретінде /30, /29, /28, /27, /26, /25 және /24 масқалар тізімін ұсынады. Себебі бұл ішкі желіде әлі басқа ішкі желілер тіркелген жоқ, сондықтан әртүрлі масқаларды қолдануға болады. Дегенмен, ұзындығы /23 немесе одан аз масқалар ұсынылмайды, өйткені келесі ішкі желілер (мысалы, 10.243.71 және т.б.) жүйеде қолданыста ретінде және басқа мақсаттарда пайдаланылуда. Бұл тәсіл ішкі желілердегі IP-мекенжайларының қиылысуын болдырмауға көмектеседі.



Сурет 2 – 10.243.70.0 желісіндегі ішкі желілерді бөлуді визуализациялау

Егер жүйеде 10.243.68.0 ішкі желісін таңдасаңыз, жүйе /30, /29, /28 және /27 сияқты ықтимал ішкі желі масқаларын ұсынады. Бұл жағдайда ішкі желінің максималды ұзындығы /27-мен шектеледі. 10.243.68.0 желісінде /27 желі масқасын пайдаланған кезде 10.243.68.1- 10.243.68.30 аралығындағы мекенжайлар пулы қолжетімді болады. Желі мекенжайы ретінде 10.243.68.0 мекенжайы, ал резервтелген хабар тарату мекенжайы ретінде 10.243.68.31 мекенжайы пайдаланылады. Бұл 10.243.68.1-ден 10.243.68.30-ға дейінгі мекенжайлар пайдалануға қолжетімді дегенді білдіреді. Бұл жағдайда сіз /26 масқасын пайдалана алмайсыз, себебі ол желіде бұрын тіркелген 10.243.68.40/29 желісімен қайшылыққа түсіп тұр.

"IP желісінің картасы" бөлімінде жүйеде қолданыста деп тіркелінген ішкі желіні таңдаған кезде Модальды терезе осы ішкі желі туралы толық ақпаратты, соның ішінде осы ішкі желіге ие ұйымның атауы туралы ақпаратты беріледі (Сурет 3 қараңыз). Сонымен қатар, ішкі желі мекенжайын, байланыс арнасының өткізу қабілеттілігін және басқа да тиісті параметрлерді қоса алғанда, барлық қажетті қосымша ақпарат қолжетімді болады.

Бұл қосымша ақпарат ішкі желінің ағымдағы пайдаланылуын жылдам бағалауға, оның белгілі бір ұйымға тиесілігін анықтауға және осы ішкі желімен байланысты ресурстарға егжей-тегжейлі мониторинг жүргізуге мүмкіндік береді. Бұл тәсіл корпоративтік желідегі IP- мекенжайы мен ішкі желіні басқарудың ашықтығы мен тиімділігін арттырады.



Сурет 3 – Ішкі желі туралы толық мәлімет

Жүйеде тіркелген ішкі желілер туралы ақпаратқа қол жеткізуді ыңғайлы ету үшін "IP желісінің журналы" бөлімі бар (Сурет 4 қараңыз). Бұл бөлімде әртүрлі бағандар бойынша сүзгі қоюға және іздеуге болатын кеңейтілген деректер кестесі ұсынылған. Сонымен қатар, пайдаланушылар деректерді JSON, XML, CSV, SQL және MS-Excel сияқты әртүрлі пішімдерге экспорттау мүмкіндігіне ие.

Белгілі бір ішкі желіні таңдаған кезде модальды терезеде толық ақпарат беріледі. Бұл тек IP мекенжайы туралы деректерін ғана емес, сонымен қатар ішкі желіге қатысты басқа параметрлерді де жылдам алуға мүмкіндік береді және желілік ресурстарды бақылауды және талдауды айтарлықтай жеңілдетеді.

The screenshot shows a web interface titled "Журнал IP сетей" (IP Network Log). It features a search bar, a "Показать" (Show) button, and a table with the following columns: "Наименование ГО" (Organization Name), "Адрес" (Address), "P2P", "Lan IP", "Проп. способ, Kбит/с" (Transfer Method, Kbit/s), "Номер прямой линии" (Direct Line Number), "ЦИТ/ОЦИТ" (CIT/OCIT), and "Регион" (Region). The table contains five rows of data, each representing a different organization and its IP configuration.

| # | Наименование ГО | Адрес | P2P | Lan IP | Проп. способ, Kбит/с | Номер прямой линии | ЦИТ/ОЦИТ | Регион |
|---|---|----------------------------------|------------------|------------------|----------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 1 | Аппарат айма Қазығуртского района ГУ «Отдел жилищно-коммунального хозяйства, пассажирского транспорта и автомобильных дорог Қазығуртского района» ГУ «Отдел внутренней политики Қазығуртского района» | Қазығурт аум., Д.Қонаев көш. №95 | 10.243.209.56/30 | 10.243.124.0/24 | 40960 | 8003216 | ЦИТ по г.Шымкент | Қазығуртский район |
| 2 | Аппарат айма Қазығуртского района. Альтернативный. Для БСПД | Қазығурт аум., Д.Қонаев көш. №95 | не используется | 10.243.73.0/26 | 40960 | 8003216 | ЦИТ по г.Шымкент | Қазығуртский район |
| 3 | ГУ «Аппарат Қазығуртского районного масшката» | с. Қазығурт, Д.Қонаев көшесі №95 | 10.243.209.68/30 | 10.243.73.96/27 | 1024 | | ЦИТ по г.Шымкент | Қазығуртский район |
| 4 | ГУ «Отдел образования Қазығуртского района» | с. Қазығурт, Д.Қонаев б/н | 10.243.209.76/30 | 10.243.73.160/27 | 8192 | 8003247 | ЦИТ по г.Шымкент | Қазығуртский район |
| 5 | ГУ «Отдел физической культуры и спорта Қазығуртского района» | с. Қазығурт, Д.Қонаев көшесі №95 | 10.243.209.88/30 | 10.243.74.0/27 | 4096 | 8003248 | ЦИТ по г.Шымкент | Қазығуртский район |

Сурет 4 – "IP Database" ақпараттық жүйесі "IP желісінің журналы" бөлімі

Жүйедегі деректер мен параметрлерге қол жеткізу деңгейін тиімді басқару үшін рөлдерді басқару функционалы қарастырылған. IP Database ақпараттық жүйесінде үш түрлі рөл бар: әкімші, редактор және пайдаланушы. Бұл рөлдердің әрқайсысы пайдаланушы қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін сейкесінше функционалмен қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Әкімші рөлі жаңа ішкі желілерді және қатысты ақпаратты қосу, ішкі желілерді бөлу, жүйедегі пайдаланушы тіркелгілерін басқару, сондай-ақ жасалған ішкі желілерді жою және өңдеу мүмкіндігін қоса алғанда, кең ауқымды функционалдылықты қамтамасыз етеді.

Әкімші рөлі жаңа ішкі желілер мен байланысты ақпаратты қосу мүмкіндігін, ішкі желілерді бөлуді, жүйедегі пайдаланушы есептік жазбаларын басқаруды және жасалған ішкі желілерді жою және өңдеу мүмкіндігінмен қоса, кең ауқымды функционалдылықты қамтамасыз етеді.

Өңдегіш рөлі желілік ресурстарды басқаруда икемділікті қамтамасыз ете отырып, жаңа ішкі желілерді қосуға және бұрын тіркелген желілерге өзгертулер енгізуге мүмкіндік береді.

Пайдаланушы рөлі тек енгізілген ақпаратты қарауға арналған және ол өзгертулер енгізу мүмкіндігінсіз деректерді қарау мүмкіндігімен шектеледі.

Рөлдердің бұл функционалдық бөлінуі жүйелік деректер мен құралдарға басқарылатын қолжетімділікті қамтамасыз етеді, тиімді ынтымақтастықты және желілік ресурстарды қауіпсіз басқаруды жеңілдетеді.

Нәтижелер. IP-мекенжайларын басқару процесін автоматтандыру желілік әкімшілер мен жалпы ұйымдардың жұмысында бірқатар маңызды артықшылықтар мен жақсартуларды қамтамасыз ететін таптырмас құрал болып табылады. IP-мекенжайын басқару процесін автоматтандырудың негізгі артықшылықтары:

Адам қателігінің ықтималдығын азайту: IP-мекенжайын басқаруды автоматтандырудың негізгі артықшылықтарының бірі адам қателігінің ықтималдығын азайту

болып табылады. IP- мекенжайын қолмен басқару қате конфигурациялар, қайталанатын IP-мекенжайлары және желі өнімділігіне айтарлықтай әсер ететін басқа қателер қаупін тудырады. «IP Database» масқалардың дұрыстығын автоматты түрде тексеру және IP-мекенжайларындағы қақтығыстарды болдырмау арқылы мұндай қателіктердің алдын алады.

Тапсырмаларды орындау уақытын қысқарту: Автоматтандыру сонымен қатар IP- мекенжайын басқару тапсырмаларына кететін уақытты айтарлықтай қысқартуы мүмкін. Ішкі желілерді қолмен бөлу және конфигурациялау көп еңбекті және көп уақытты қажет ететін тапсырма болуы мүмкін. IP Database көмегімен тапсырмалар тез және тиімді орындалады, бұл желі әкімшілерінің өзге маңызды тапсырмалары үшін уақытын босатады.

Жалпы желілік қауіпсіздікті және ақауларға төзімділікті арттыру: IP-мекенжайларын басқару процесін автоматтандыру желі қауіпсіздігін және ақауларға төзімділікті жақсартуға көмектеседі.

Қорытындылай келе, "IP Database" ақпараттық жүйесі арқылы автоматтандырылған IP- мекенжайын басқару процесі пайда болуы мүмкін қателердің алдын алу, уақытты үнемдеу, қауіпсіздікті жақсартуды және шығындарды азайтуды қоса алғанда, елеулі артықшылықтар береді.

Қорытынды. Бұл мақалада біз қазіргі корпоративтік желілердегі IP-мекенжайларын басқарудың өзекті мәселесін қарастырдық және IP-мекенжайларының қолданыстағы пулын ішкі желілерге бөлу процесін автоматтандырудың шешімі ретінде «IP Database» ақпараттық жүйесін ұсындық. Бұл жүйе желіні басқарудың маңызды аспектісі болып табылатын IP-мекенжайларын есепке алу, бақылау және басқару құралдарын ұсынады.

IP мекенжайларын есепке алудың және қолмен ішкі желілерге бөлудің дәстүрлі әдістері мен құралдарын қарастыру барысында, біз желі әкімшілері кездесетін шектеулер мен қиындықтарды анықтадық. "IP Database" ақпараттық жүйесі адам қателігінің қаупін азайтатын, тапсырманы орындау уақытын қысқартатын, жалпы желі қауіпсіздігі мен тұрақтылығын арттыратын және желіні әкімшілендіру шығындарын төмендететін автоматтандырылған әдісті ұсынады. Бұл құрал заманауи кәсіпорын желілерінің динамикалық сипатын ескере отырып, IP мекенжайларын тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

«IP Database» автоматтандыру құралдарын қамтамасыз етіп қана қоймайды, сонымен қатар ыңғайлы деректерді басқаруды, кең функционалдылықты және ұйымдағы әртүрлі рөлдерге қол жеткізуді басқару мүмкіндігін қамтамасыз ететінін атап өту маңызды. Бұл құралды жоғары икемді етеді және әртүрлі ұйымдар мен желілік инфрақұрылымдарға жарамды етеді.

Қорытындылай келе, IP-мекенжайын басқаруды автоматтандыру қазіргі желілік әкімшілендірудің ажырамас бөлігіне айналуға және «IP Database» желі әкімшілеріне өз желілерінің тиімді және қауіпсіз басқару үшін қуатты шешімді ұсынады. Бұл мақала сізге IP- мекенжайларын автоматтандырылған басқарудың артықшылықтары мен мүмкіндіктерін толық түсінуге және оларды желілік инфрақұрылымда енгізуді жеңілдетуге көмектесетініне үміттенеміз.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Badr Benmammam (2021). Intelligent network management and control. Wiley.
- 2 Cybellium Ltd (2023), Mastering Network Essentials. Cybellium Ltd.
- 3 Dr.T.Chithambaram, Dr. K. Saranya (2023), Advanced Computer Networks. SK Research Group of Companies.
- 4 IP mobility management. (2020). Encyclopedia of Wireless Networks, 685-685. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78262-1_300312.
- 5 Address assignment. (2020). IP Address Management, 51–73. Portico. <https://doi.org/10.1002/9781119692263.ch3>.
- 6 Jeffrey S. Beasley, Jeffrey Beasley, Piyasat Nilkaew, (2020), Networking Essentials A CompTIA Network+ N10-008 Textbook. Pearson Education.
- 7 William Easttom II (2023), Network Defense and Countermeasures. Principles and Practices. Pearson Education.
- 8 Yu-Chu Tian, Jing Gao (2023), Network Analysis and Architecture. Springer Nature Singapore.
- 9 Michael G. Solomon, David Kim (2021), Fundamentals of Communications and Networking. Jones and Bartlett Learning.
- 10 Ata Elahi, Alex Cushman (2023), Computer Networks. Data Communications, Internet and Security. Springer International Publishing.

REFERENCES

- 1 Badr Benmammam (2021). Intelligent network management and control. Wiley.
- 2 Cybellium Ltd (2023), Mastering Network Essentials. Cybellium Ltd.
- 3 Dr.T.Chithambaram, Dr. K. Saranya (2023), Advanced Computer Networks. SK Research Group of Companies.
- 4 IP mobility management. (2020). Encyclopedia of Wireless Networks, 685-685. https://doi.org/10.1007/978-3-319-78262-1_300312.
- 5 Address assignment. (2020). IP Address Management, 51–73. Portico. <https://doi.org/10.1002/9781119692263.ch3>.
- 6 Jeffrey S. Beasley, Jeffrey Beasley, Piyasat Nilkaew, (2020), Networking Essentials A CompTIA Network+ N10-008 Textbook. Pearson Education.
- 7 William Easttom II (2023), Network Defense and Countermeasures. Principles and Practices. Pearson Education.
- 8 Yu-Chu Tian, Jing Gao (2023), Network Analysis and Architecture. Springer Nature Singapore.
- 9 Michael G. Solomon, David Kim (2021), Fundamentals of Communications and Networking. Jones and Bartlett Learning.
- 10 Ata Elahi, Alex Cushman (2023), Computer Networks. Data Communications, Internet and Security. Springer International Publishing.

Н. КӨЛБАЕВ*, К. ТУЕНБАЕВА, Н. ҚЫЗЫЛБЕК

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
*e-mail: *kolbayev.nurbolat@gmail.com.; tkt.kalima@gmail.com; kyzylbekn@gmail.com*

ЭЛЕКТРОНДЫҚ АКАДЕМИЯЛЫҚ КІТАПХАНАЛАРДЫҢ ДАМУЫН МОДЕЛЬДЕУ

Академиялық электронды кітапханаларда модельдеу әдістерін зерттеудің өзектілігі кітапхананың құрылымын түсіну және оның технологиялық тұрғыдан жұмыс істеуін қамтамасыз ету қажеттілігімен негізделген. Бұл зерттеудің мақсаты қазақстандық және халықаралық жоғары оқу орындарына қызмет көрсететін электрондық кітапханалар үшін қолданылатын модельдеу әдістерін талдау болып табылады. Зерттеуде негізгі (құрылымдық, салыстырмалы) және қосымша (аналитикалық-синтетикалық, графикалық) әдістер қолданылды. Осы зерттеу барысында қазіргі заманғы электрондық кітапханаларды модельдеудің негізгі әдістеріне мыналар кіретіні анықталды: электрондық кітапхана объектілері мен іздеу сұрауларының атрибуттары арасында нақты иерархия орната отырып, тұжырымдамалық (мазмұндық), іздеу категорияларын қолдана отырып логикалық, материалды құрудың семантикалық принципін қолдана отырып ақпараттық және функциялар, құрылым, технологиясы және басқару жүйесі. Атап айтқанда, университеттерде қазақстандық, британдық және американдық электрондық кітапханалардың құрылымын модельдеуден кейін Йель университетінің электрондық кітапхана жинағы логикалық модельдеу әдісіне негізделгені, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің электрондық кітапханасы жүйелік-функционалдық әдісті, Кембридж кітапханасы университеттің электрондық кітапханасы ақпараттық әдісті, ал әл-Фараби-атындағы кітапханасы тұжырымдамалық (мазмұнды) әдіс пайдаланатыны анықталды. Электрондық кітапханалардың технологиялық параметрлерін зерделеу кезінде қазақстандық кітапханалар материалдарды жанрлық бөлу принципіне бағдарланғаны, ал британдық және американдық кітапханалар материалдарды тақырыптық сегментациялауға бағдарланғаны анықталды. Бұл зерттеу кейінірек Электронды кітапхана модельдерін салыстыруды ұсыну, Электронды кітапхана ресурстарының технологиялық параметрлерін жақсарту жолдарын және іздеу жүйесін жетілдіру әдістерін әзірлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: құрылым, университет, сандық кеңістік, іздеу термині, атрибуттар.

Н. КОЛБАЕВ*, К. ТУЕНБАЕВА, Н. ҚЫЗЫЛБЕК

Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
*e-mail: *kolbayev.nurbolat@gmail.com.; tkt.kalima@gmail.com; kyzylbekn@gmail.com*

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ АКАДЕМИЧЕСКИХ БИБЛИОТЕК

Актуальность исследования методов моделирования в академических электронных библиотеках обосновывается необходимостью понимания структуры библиотеки и обеспечения ее функционирования в технологическом аспекте. Цель данного исследования – провести анализ применяемых методов моделирования для электронных библиотек, обслуживающих казахстанские и международные высшие учебные заведения. В работе использовались основные (структурный,

сравнительно-сравнительный) и дополнительные (аналитико-синтетический, графический) методы. В ходе исследования было установлено, что основные методы моделирования современных электронных библиотек включают в себя следующие: концептуальный (содержательный) с установлением четкой иерархии между объектами электронной библиотеки и атрибутами поисковых запросов, логический с использованием категоризации поиска, информационный с применением семантического принципа материального конструирования и системно-функциональный, обеспечивающий баланс между функциями, структурой, технологиями и системой управления. В частности, после моделирования структуры казахстанских, британских и американских цифровых библиотек в университетах было определено, что Электронная библиотека коллекции Университета Йель построена на методе логического моделирования, Электронная библиотека Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилёва использует системно-функциональный метод, Электронная библиотека Кембриджского университета применяет информационный метод, а Библиотека аль-Фараби использует концептуальный (содержательный) метод. При изучении технологических параметров электронных библиотек было установлено, что казахстанские библиотеки ориентированы на принцип жанрового распределения материалов, в то время как британские и американские библиотеки сосредотачиваются на тематическом сегментировании материалов. Данное исследование может быть дополнительно использовано для представления сравнения моделей электронных библиотек, разработки способов улучшения технологических параметров ресурсов цифровой библиотеки и методов усовершенствования системы поисковых запросов.

Ключевые слова: структура, университет, цифровое пространство, поисковый запрос, атрибуты.

N. KOLBAYEV *, K. TUYENBAYEVA, N. KYZYLBEK

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

*e-mail: *kolbayev.nurbolat@gmail.com,; tkt.kalima@gmail.com; kyzylbekn@gmail.com*

MODELING THE DEVELOPMENT OF ELECTRONIC ACADEMIC LIBRARIES

The relevance of examining modelling methods in academic electronic libraries is justified by the need to understand the library's structure and ensure its operation in technological terms. The purpose of this study is to analyse the applied modelling methods for electronic libraries serving Kazakhstani and international higher education institutions. The study employed basic (structural, comparative-comparative) and additional (analytical-synthetic, graphical) methods. During this study, it was found that the main modelling methods for modern electronic libraries include the following: conceptual (content) with the establishment of a clear hierarchy between objects of the electronic library and attributes of search queries, logical using search categorisation, informational employing the semantic principle of material construction, and systemic-functional ensuring a balance between functions, structure, technologies, and management system. In particular, after modelling the structure of Kazakhstani, British, and American digital libraries at universities, it was determined that the Electronic Library Collection of Yale University is built on the method of logical modelling, the Electronic Library at Eurasian National University named after L. N. Gumilyov uses the systemic-functional method, the Cambridge University Electronic Library employs the informational method, and the Al-Farabi Library uses the conceptual (content) method. When examining the technological parameters of electronic libraries, it was found that Kazakhstani libraries are focused on the principle of genre distribution of materials, while British and American libraries focus on thematic segmentation of materials. This study can be further used to present a comparison of models of electronic libraries, develop ways to improve the technological parameters of digital library resources, and methods to enhance the search query system.

Key words: structure, university, digital space, search query, attributes.

Кіріспе. Электрондық кітапханаларды модельдеу әдістерін талдау кітапхана кеңістігін құрудың технологиялық тұжырымдамасын, атап айтқанда пайдаланушы жасаған іздеу сұраулары, қажетті нәтижелерді алу, іздеу атрибуттары арқылы ақпараттық ағындарды санаттау және ресурстар арасындағы байланысты қамтамасыз ету сияқты параметрлерді түсіну тұрғысынан қажет. Электрондық кітапханалардың құрылымын модельдеу процесі, ең алдымен, кітапхана кеңістігінің әртүрлі объектілері мен атрибуттары арасындағы қатынастар мен иерархияларды орнатумен байланысты. Модельдеу әдістерін анықтау маңызды, себебі ол іздеу өнімділігін арттырады және пайдаланушыға қажетті деректердің дәл көрінісін қамтамасыз етеді.

Көп университеттердің электронды кітапханаларының имитациялық құрылымының графикалық көрінісі кітапхана кеңістігіндегі көп деңгейлі сипат пен өзара байланысты көрсетеді. Электрондық кітапханалардың негізгі ақпараттық және іздеу блоктары туралы нақты түсінік суреттер мен кестелер арқылы орнатылады. Қазақстандық, британдық және американдық электрондық кітапханалар арасындағы салыстыру Қазақстандағы және шетелдегі академиялық цифрлық кітапханалардың технологиялық тұжырымдамасындағы ұқсастықтар мен айырмашылықтарды түсіну үшін қажет. Мұндай ақпарат онлайн-каталогтарды басқарудың қазақстандық және халықаралық тәжірибесін одан әрі зерделеу үшін пайдалы болуы мүмкін.

Н.С. Түркежі және т. б. деректері бойынша. (2022), электрондық кітапханаларды құрудың заманауи тәжірибелері мазмұнның жеткіліксіз болуын көрсетеді. Авторлар кітапханада бар ресурстарды оңтайландыруға және жылжытуға байланысты процесстердің қажеттілігін атап көрсетеді. Бұл зерттеу мазмұнға қол жеткізуді қамтамасыз ету әдістерінің бірі ретінде іздеу сұрауларын талдауға бағытталмады. Зерттеуде Г. Бердіқұлова және соавт. (2020), дәстүрлі университеттік білім берудегі цифрлық саладағы өзгерістер талқылануда. Зерттеу Алматыдағы Халықаралық ақпараттық технологиялар университетінде жүргізілді. Трансформация принциптері мен халықаралық университеттердің озық тәжірибелері зерттелді. Авторлар университеттерде электронды кітапханаларды құру және дамыту кезеңіне емес, цифрлық трансформацияны талдауға назар аударады.

Ю. Камилова мен Дж.Яптың зерттеуі (2022) нақты пәндер бойынша кітапхана тәжірибесін енгізуді зерттеуге бағытталған. Қазақстандағы кітапхана ісінің өзіндік ерекшелігі мен кітапхана ісінің халықаралық практикасына ұқсастығы анықталды. Алайда, бұл зерттеуде электронды кітапханаларды модельдеу әдістері талданбайды. Қ. Туенбаева мен Н.Колбаев (2022) жүргізген зерттеу электронды кітапханалардың артықшылықтары мен кемшіліктерін зерттейді, бұл олардың жіктелуіне әкеледі. Негізгі түрлері қарастырылып қазақстандық және халықаралық жобалар арасында салыстыру жүргізіледі. Зерттеу сонымен қатар сандық кітапханалардың функционалдығын тереңдете отырып, дәстүрлі кітапханалардың негізгі аспектілерін көрсетеді. Алайда электронды кітапханалардың құрылымын графикалық модельдеу жоқ. А. Хабиби және басқалар(2022) коронавирус контекстіндегі цифрлық кітапханалардың жұмысын зерттеуге бағытталған. Авторлар мектептердің жабылуына және офлайн оқытудың мүмкін еместігіне байланысты мәселелерді шешуді ұсынады. Бұл зерттеу цифрлық кітапхана деп аталатын құбылыстың кеңірек контекстін елемей, электрондық кітапханалардың жұмысын тар түсінуге бағытталған.

Бұл зерттеудің мақсаты кітапхана кеңістігін электронды форматта модельдеуге байланысты әдістерді зерттеу, негізгі технологиялық параметрлер арқылы цифрлық кітапхананың технологиялық тұжырымдамасын түсінуді қалыптастыру болып табылады. Бұл зерттеудің негізгі мақсаттары мыналар болып табылады: модельдеу әдістері тұрғысынан электрондық кітапхана кеңістігін зерделеу және қазақстандық және халықаралық университет кітапханаларының мысалдарында цифрлық электрондық каталогтарды құрылымдау. Бұл зерттеудің пәні цифрлық кітапханаларды модельдеу әдістері мен цифрлық кітапхананың технологиялық тұжырымдамасы призмасы арқылы қаралатын қазақстандық, британдық және американдық университеттердің электрондық кітапханалары болып табылады.

Материалдар мен әдістер. Бұл зерттеудің теориялық негізі академиялық электронды кітапханаларға қатысты негізгі мәселелер мен сын-қатерлерді қарастыратын кітапхана саласындағы заманауи кітапханашылардың, технологтардың жұмыстары болып табылады. Мысалы, электрондық кітапханаларды басқару жүйелерін жетілдіру, іздеу жүйесін жетілдіру, пайдаланушылар мен кітапхана қызметкерлері арасындағы байланысты қамтамасыз ету. Модельдерді талдау кезінде төрт электронды кітапхананың веб-сайттары пайдаланылды: Әл-Фараби кітапханасы (сандық каталог), электрондық кітапхана - Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Кембридж сандық кітапханасы және Йель кітапханасының сандық жинақтары. Олардың негізінде электрондық кітапхананы модельдеудің логикалық, ақпараттық, тұжырымдамалық (мазмұндық), жүйелік-функционалдық әдісі қарастырылды.

Бұл зерттеуде төрт цифрлық кітапхананың технологиялық параметрлеріне салыстырмалы талдау жүргізілді: Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің электрондық кітапханасы, Әл-Фараби кітапханасы (цифрлық каталог), Йель университетінің кітапханасының сандық жинақтары және Кембридждің цифрлық кітапханасы. Салыстыру келесі параметрлер жиынтығы бойынша жүргізілді: іздеу атрибуттарын қолдана отырып ақпаратты санаттау, жіктеу сөздіктерінің болуы, материалдарды тақырыптық сегменттеу, материалдарды жанрлық принциптер бойынша бөлу, ақпаратты ыңғайлы іздеу, ақпаратты оқылатын форматта ұсыну және ресурстар арасындағы байланысты қолдау.

Бұл зерттеудегі аналитикалық-синтетикалық әдіс электрондық кітапханалардың технологиялық тұжырымдамасына және оларды модельдеу әдістеріне, сондай-ақ пайдаланушылар мен кітапханаларды басқару жүйелері арасында байланыс орнатудың тиімді әдістеріне тікелей қатысты негізгі мәселелерді зерттеу үшін қолданылды. Жаңа цифрлық кітапханаларды модельдеу мен жобалауды жетілдірудің кейбір әдістері де қарастырылды. Талдау эксперименттік таным әдістеріне негізделген сауалнамалар мен сауалнамаларды қамтитын заманауи зерттеушілердің жұмысын қамтыды.

Бұл зерттеу төрт диаграмманы қолдана отырып, әртүрлі модельдеу әдістерін қолданатын онлайн кітапханалардың құрылымын ұсыну үшін графикалық талдауды қолданды. Сонымен қатар, зерттеу нәтижелерін анық көрсету үшін академиялық электрондық кітапханалардың негізгі технологиялық параметрлерін көрсететін кесте жасалды. Осылайша, зерттеу іргелі әдістерді қамтыды: құрылымдық және салыстыр-

малы талдаулар, сонымен қатар қосымша әдістер: аналитикалық-синтетикалық және графикалық талдаулар. Бұл әдістердің әрқайсысы электрондық кітапханалардың жұмыс істеуіне және оларды басқаруға ықпал ететін әртүрлі элементтерді зерттеу үшін пайдаланылды.

Нәтижелер. Электрондық (цифрлық) кітапхана - бұл құжаттар машинада оқылатын түрде сақталатын және сол құжаттарға бір нүктеден қол жеткізілетін ақпараттық жүйенің бір түрі. Академиялық Электронды кітапхана белгілі бір оқу орнымен байланысты және оқытушылар мен студенттерге оқу және ғылыми зерттеулер үшін электронды материалдарды ұсыну мақсатына қызмет етеді. Электрондық кітапхананың технологиялық аспектілеріне қойылатын негізгі талаптарға материалдарды сақтау және қорғау, географиялық картаға түсіру, деректердің дәлдігі, жеткілікті жіктеу сөздіктерін пайдалану, ақпараттық ресурстар арасында байланыс орнату және пайдаланушы таңдаған форматта ақпарат беру кіреді. Технологиялық тұрғыдан электронды кітапхананы келесі компоненттерден тұратын көп деңгейлі құрылым ретінде ұсынуға болады: деректер қоймасы, метадеректер сервері, қосымшалар сервері және анықтамалық сөздіктер (Tammaro et al., 2022).

Модельдеу-бұл белгілі бір объектілерді олардың құрылысын түсіну және олардың модельдерін талдау, олардың элементтері арасындағы қатынастар және оларға қатысты болжамдарды білдіру арқылы зерттеу процесі. Қазіргі заманғы электронды кітапханалар контекстінде тұжырымдамалық, жүйелік-функционалды, құрылымдық-белсенділік, логикалық және ақпараттық сияқты модельдеудің әртүрлі әдістерін бөліп көрсетуге болады. Жүйелік-құрылымдық, процеске бағытталған, мазмұнды-логикалық және ақпараттық-белсенділік әдістері сияқты бұрынғы әдістер де қолданылды.

Электрондық кітапхананы модельдеудің тұжырымдамалық (мазмұнға негізделген) әдісі ұғымдар, олардың сипаттамалары мен жіктелуі арасындағы байланысты қамтамасыз ететін пәндік сала үшін құрылымды жобалауды қамтиды. Мұндай модельде қажетті элементтер кітапхананың барлық құрылымдық бөліктеріне жататын және келесі атрибуттармен ұсынылған түбірлік физикалық объект болып табылады: идентификатор, тақырып, тақырып, кілт сөздер, нұсқа немесе аннотация, сондай-ақ ақпарат көзін көрсететін жасанды нысандар: ұйымдар, баспагерлер, авторлар, Жобалар, ғылыми журналдар, конференциялар. Библиографиялық жазбалардың функционалды талаптары (frbr), домендік беделді деректердің функционалды талаптары (FRSAR) және тұжырымдамалық анықтамалық модель сияқты белгілі тұжырымдамалық модельдер бар (CIDOC-CRM).

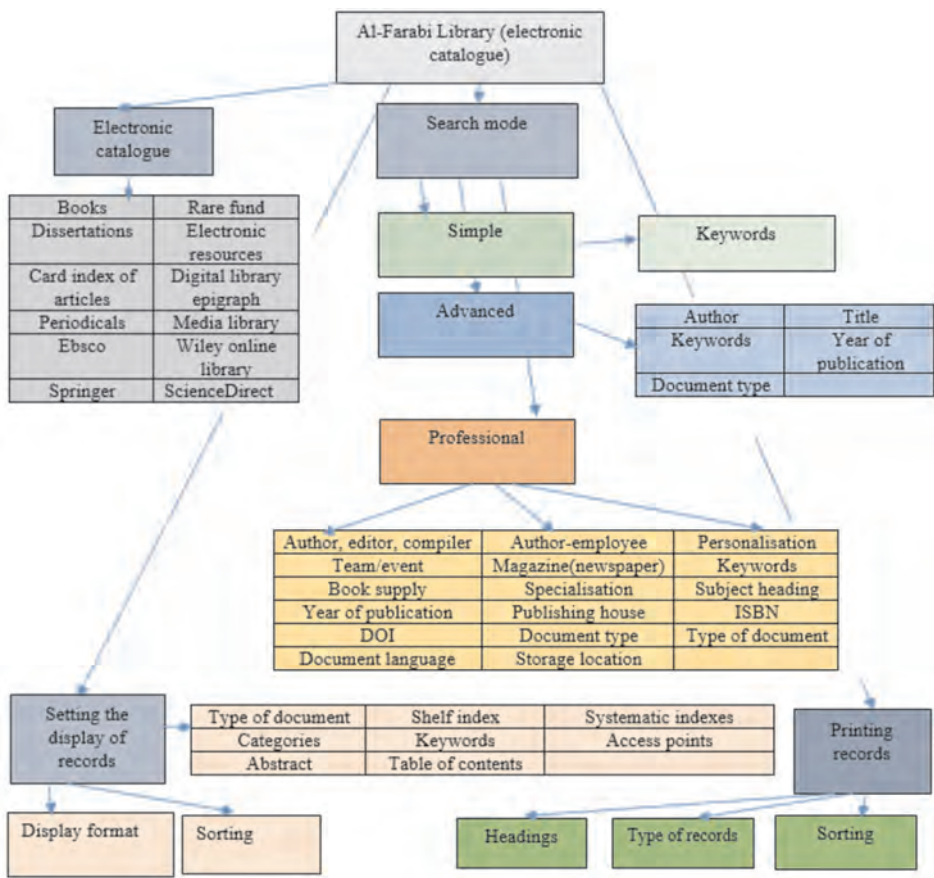
Электрондық кітапхананы модельдеудің жүйелік-функционалды әдісі негізгі элементтердің өзара әрекеттесуіне негізделген: функциялар, құрылымдар, технологиялар және басқару. Бұл тәсілде функциялар мен құрылым арасындағы байланыс ерекше маңызды. Мысалы, құрылымды байыту оның қызметін ынталандырады және керісінше. Жүйенің тұрақтылығы басқару мен технология арасындағы байланыс арқылы технологиялық тұрғыдан сақталады. Кітапханадағы технологиялық жетістіктер оның функционалды мүмкіндіктерін кеңейтуге ықпал етеді және басшылық аталған барлық функциялардың орындалуын қамтамасыз етуі керек.

Электрондық кітапхананы модельдеудің құрылымдық-белсенділік әдісі университет кітапханасының, оқытушылардың, құқық иелерінің және студенттердің қатысуын қамтиды. Оқытушылар электронды кітапхана мазмұнын ұсынады, ал авторлық құқық иелері бұл процесті реттейді. Жүйені басқару осы объектілердің барлығымен байланысты, үйлестіруді, технологиялық қолдауды, қажетті ақпаратты алуды, ақпаратты байытуды және іздеу тиімділігін бағалауды қамтамасыз етеді.

Электрондық кітапханаларды модельдеудің ақпараттық әдісі айнымалы шамаларды, олардың арасындағы қатынастарды және сыртқы жағдайлардың өзгеруіндегі объектінің күйін сипаттайтын сигналдар жүйесі арқылы ақпаратты ұсынуға негізделген. Ол әдетте ақпараттық ағындарды (ішкі, сыртқы) және олардың басқару жүйесіне әсерін анықтау негізінде құрылады. Бұл әдіс көбінесе объектілердің қасиеттерін сипаттау үшін семантикалық технологиялар, таксономиялар, онтология және тезаурустар қолданылатын семантикалық кітапханаларды құру үшін қолданылады. Осы типтегі кітапханалар үшін семантикалық іздеу, ұсыныстарды құру және санаттау мүмкіндіктері бар (Kummervold et al., 2021).

Әл-Фараби кітапханасының электрондық каталогына кітаптар, дипломдық жұмыстар, рефераттар, мақалалар каталогы, мерзімді басылымдар, сирек материалдар, электрондық ресурстар, кітапханалар, сондай-ақ Wiley, EBSCO, Springer және ScienceDirect онлайн кітапханаларының жинақтары кіреді. Оған үш іздеу режимінде қол жеткізуге болады: қарапайым, кеңейтілген және кәсіби. Қарапайым іздеу форматында пайдаланушылар нәтижелерді құжат түрі, сөре нөмірі, жүйелік көрсеткіштер, тақырыптар, кілт сөздер, кіру нүктелері, аннотациялар және Мазмұн кестесі бойынша сұрыптай алады. "Дисплей пішімі" функциясы толық, қысқа, түсіндірмелі, мұражай, адам, оқушы, кескін каталогы, құжаттарды электронды жеткізу, толтырылған анықтамалық мұрағат және жинау сұраулары сияқты опцияларды таңдауға мүмкіндік береді. Электрондық кітапхана интерфейсі сонымен қатар автор, тақырып, жарияланған жылы, сатып алынған күні, персонал, басып шығару және іздеу нәтижелерін электрондық пошта арқылы жіберу бойынша сұрыптау опцияларын қамтиды. Жетілдірілген іздеуді қолдана отырып модельдеу автор, тақырып, кілт сөздер, жарияланған жылы және құжат түрі туралы ақпаратты толтыруды қамтиды. Кәсіби іздеуге автор, редактор, құрастырушы, бірлескен автор, жеке тұлғалар, ұжымдық баспагерлер, журналдың немесе газеттің атауы, Кілт сөздер, кітаптың болуы, мамандығы, тақырыптық тақырыбы, жарияланған жылы, баспагер, құжат түрі, сипаты, тілі, сақтау орны және ISBN және DOI индекстер. Әл-Фараби атындағы кітапхананың электрондық каталогын құрылымдық модельдеу 1-суретте көрсетілген.

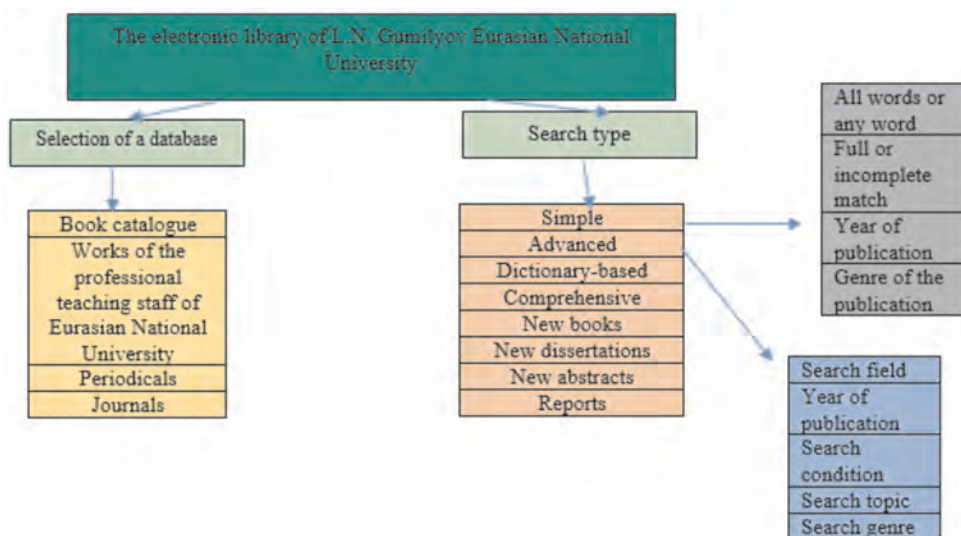
Сонымен, Әл-Фараби кітапханасының электронды каталогын құру кезінде негізгі әдіс тұжырымдамалық (мазмұнды) модельдеу болып табылады, өйткені түбірлік объект кілт сөздер, тақырып, құжат түрі, баспагер, журнал және персонал сияқты атрибуттары бар "іздеу режимі" деп аталатын физикалық объектіге негізделген. Кітаптар, диссертациялар, мерзімді басылымдар мен мақалалардың жазбаларын қамтитын мәліметтер базасын жанрлық модельдеу жүргізіледі (Nadirova, 2018).



Сурет 1 – Әл-Фараби атындағы кітапхана құрылымын модельдеу (сандық каталог)

Дереккөз: авторлар құрастырған.

Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің электрондық кітапханасы таңдау үшін екі негізгі санатты ұсынады: мәліметтер базасы және Іздеу түрі. Деректер базасы кітап каталогы, Еуразия ұлттық университетінің кәсіби оқытушылар құрамының еңбектері, мерзімді басылымдар мен бюллетеньдер сияқты компоненттерден тұрады. Іздеудің әртүрлі түрлері қарастырылған: қарапайым, кеңейтілген, сөздікке негізделген, кросс-іздеу. Жаңа кітаптар, тезистер мен рефераттар бөлек топтар мен есептерге бөлінеді. Қарапайым іздеу Барлық көрсетілген сөздер немесе олардың кез келгені, жарияланған жылы мен жанры (кітаптар, журналдар, мақалалар, диссертациялар, рефераттар, оқулықтар) бойынша материалды таңдауды қамтиды. Кеңейтілген іздеу өрістерді, тақырыптарды және жарияланған жылы мен жанрын таңдауға болатын шарттарды қамтиды. Кросс-іздеу бүкіл дерекқорды қамтиды. 2-суретте Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің электрондық кітапханасының құрылымы көрсетілген.

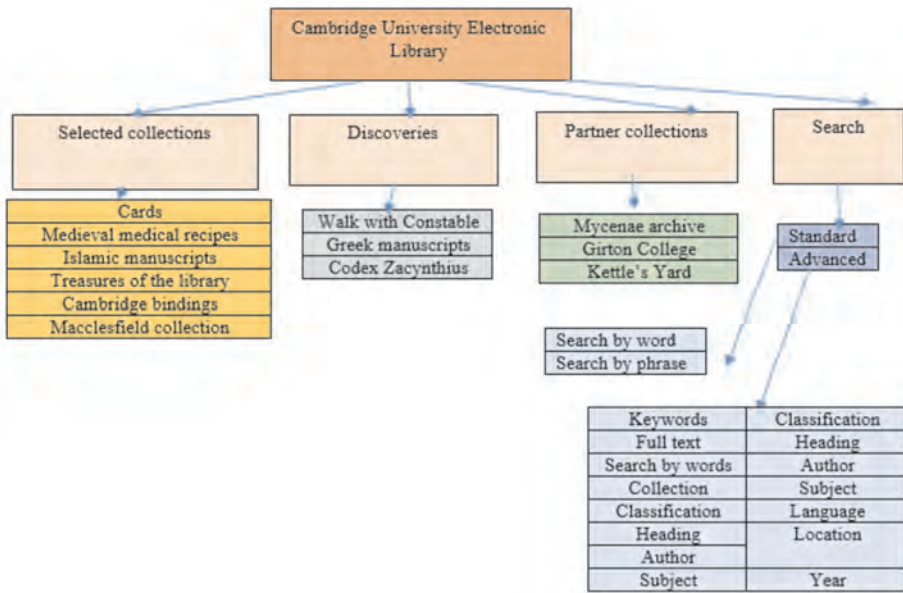


Сурет 2 – Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті кітапханасының құрылымын модельдеу

Дереккөз: авторлар құрастырған.

Сондықтан Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің кітапханасы жүйелік-функционалдық тәсілге жақын модельдеуді пайдаланады, өйткені құрылым, функциялар, технологиялар мен ресурстарды басқару арасында нақты байланыс бар. Атап айтқанда, барлық негізгі элементтерді қамтитын құжат құрылымына кешенді көзқарас көрсетіледі: тақырыптық (негізгі тақырып), жанрлық (әдебиет түрі) және басқару аспектілері (сақтау сипаттамасы). Тармақталған іздеудің функционалдығы уақыт өте келе кітапхананың мүмкіндіктерін кеңейтуге және оны пайдаланушылардың сұраныстарына сәйкес жана ресурстармен байытуға мүмкіндік береді.

Кембридж университетінің онлайн кітапханасы тақырыптық принциптер негізінде коллекциялардың атаулары арқылы модельденеді: "таңдаулы жинақтар", "ашу", "Серіктестік жинақтар". "Барлық жинақтарды қарау мүмкіндігін таңдағанда, бірнеше сілтемелер ашылады. Оларды санаттарға бөлуге болады: ғалымдардың, мәдениет қайраткерлерінің атымен аталған ("Дарвин қолжазбалары", "Джозеф Нидхэм", "Стерн және Стерниан"), ұлттық немесе географиялық байланыстарға негізделген ("Жапон шығармалары", "Ислам қолжазбалары", "Испан кітаптары"), университеттердің, кітапханалардың атымен аталған, қауымдастықтар ("Вестминстер колледжі", "Корольдік Азия Қоғамы"). Кітапхана стандартты (сөз және сөз тіркестерін іздеу) және кеңейтілген іздеуді ұсынады (кілт сөздерді, толық мәтінді, жеке сөздерді, жинақты, жіктеуді, тақырыптарды, авторларды, зерттеу тақырыптарын, тілді, орналасқан жерді және жарияланған жылын іздеу). 3 суретте Кембридж университетінің электронды кітапханасының құрылымы көрсетілген.



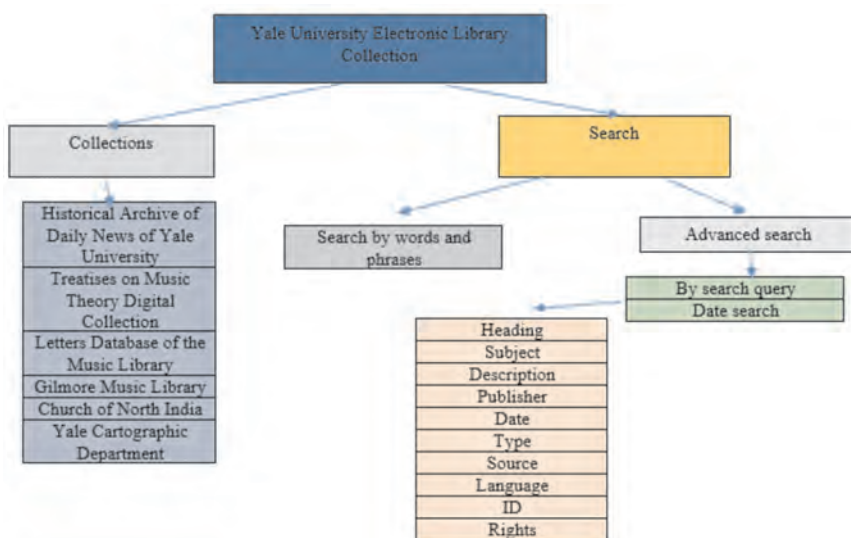
Сурет 3 – Кембридж сандық кітапханасының құрылымын модельдеу

Дереккөз: авторлар құрастырған.

Осылайша, Кембридж университетінің академиялық электронды кітапханасы ақпараттық модельдеуді қолдануға негізделген, өйткені ол семантикалық принцип бойынша құрылған: мақалалар мен кітаптар олардың арасындағы байланыс негізінде жеке топтарға жіктеледі және сыртқы орта жағдайлары өзгерген кезде басқа тақырыптық топтарға ауыстырылуы мүмкін, атап айтқанда пайдаланушы ақпаратты іздеу параметрлері. Бұл кітапхана жүйесі кілт сөздер, тақырып, автор, жинақ, тақырып және тіл сияқты атрибуттарға негізделген кеңейтілген іздеу мүмкіндіктерін ұсынатын тұжырымдамалық модельдеуді қамтиды.

Йель университетінің электронды кітапхана жинағы тақырыптық жинақтармен толықтырылған: "музыкалық кітапхананың хаттар базасы", "Yale Daily News Тарихи мұрағаты", "Солтүстік Үндістан шіркеуі", "музыка теориясының трактаттары – сандық жинақ."Іздеудің екі түрі қарастырылған: 1) сөздер мен сөз тіркестері бойынша; 2) іздеу сұранысы мен күні бойынша. Кеңейтілген іздеудің ерекшелігі - іздеу сұрауы үшін жоғарыда келтірілген кітапханалар сияқты бір уақытта бірнеше емес, тек бір параметрді таңдауға болады. 4 суретте Йель университетінің электронды кітапхана жинағының құрылымы көрсетілген.

Осылайша, Йель университетінің электронды кітапхана жинағының кеңістігі логикалық әдісті қолдана отырып модельденген деп қорытынды жасауға болады, өйткені ол тек атауы, тақырыбы, күні және түрі сияқты стандартты атрибуттар негізінде ғана емес, сонымен қатар нақты бөлшектермен де егжей-тегжейлі санаттауды ұсынады. Мысалы, іздеу "қатынас сілтеме жасайды", "қатынас форматқа ие", "қамту-кеңістіктік", "шығару күні" және "өзгерту күні" сияқты категорияларға негізделген. "Кітапхана қорлары тақырыптық қағидат бойынша құрылған (Nadirova, 2018).



Сурет 4 – Йель кітапханасының сандық коллекцияларының құрылымын модельдеу
Йель кітапханасының сандық коллекциялары

Дереккөз: авторлар құрастырған.

Қазіргі заманғы электрондық кітапханалардың технологиялық тұжырымдамасы кітапхананың тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ететін процестер, әдістер, операциялар мен әдістердің жиынтығына негізделген, соның ішінде кітапхана өнімдерін электрондық режимде құру, сақтау және пайдалану. Академиялық кітапхананың барлық қажетті функцияларын онлайн форматта қамтамасыз ету үшін іздеу атрибуттарын қолдана отырып, ақпаратты санаттарға бөлу, материалдарды сәйкестендіру үшін жіктеу сөздіктерінің болуы, материалдардың тақырыптық және жанрлық классификациясы, ақпаратты ыңғайлы іздеу, оқылатын форматта мәліметтер беру және кітапхана ішіндегі ақпараттық ресурстар арасындағы байланысты қолдау сияқты параметрлерге назар аудару қажет. 1 кестеде талқыланатын академиялық кітапханалардың технологиялық параметрлері арасындағы корреляция көрсетілген.

Кесте 1 – Электрондық кітапханалардың технологиялық параметрлерін салыстыру

| Технологиялық параметр | Әл-Фараби атындағы кітапхана (электронды каталог) | Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің электрондық кітапханасы | Кембридж университетінің электронды кітапханасы | Йель университетінің электронды кітапхана жинағы |
|--|---|---|---|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Іздеу атрибуттарын қолдана отырып ақпаратты санаттау | + | + | + | + |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| Материалды анықтау үшін жіктеуіш сөздіктердің болуы | - | + | - | - |
| Материалдарды тақырыптық сегменттеудің болуы | - | + | + | + |
| Материалдарды жанрлар бойынша бөлу | + | + | - | - |
| Ақпаратты ыңғайлы іздеу | + | - | + | + |
| Пайдаланушыға ыңғайлы форматта ақпарат беру | + | - | + | + |
| Ресурстар арасындағы байланысты қолдау | + | - | + | + |

Дереккөз: авторлар құрастырған.

Қазақстандық, британдық және американдық электрондық кітапханалардың технологиялық параметрлерін талдай отырып, келесі тармақтарды атап өтуге болады. Біріншіден, қазақстандық онлайн-ресурстар материалдарды таратудың жанрлық принципін бағдарланған, ал британдық және американдық кітапханалар тақырыптық принципті жиі пайдаланады. Қалған технологиялық параметрлер жалпы болып табылады: ресурстар арасындағы байланысты қолдау, ақпаратты ыңғайлы іздеу, іздеу атрибуттарын енгізу арқылы санаттау. Осылайша, электронды кітапхананың технологиялық тұжырымдамасын жүзеге асыру үшін тұжырымдамалық (мазмұнды), жүйелік-функционалды, құрылымдық-белсенділік, логикалық және ақпараттық сияқты әртүрлі модельдеу әдістерін қолдануға болады. Алайда, қазіргі заманғы кітапханалар Электронды кітапхана иерархиясының әртүрлі деңгейлерінде өзара байланыс орнатуға негізделген тұжырымдамалық (мазмұнды) модельдеуді қолдануға бейім.

Талқылау. Х. Ван мен Дж. Дингтің (2022) мақаласының мақсаты-интеллектуалды цифрлық кітапханаларды құру стратегияларын әзірлеу. Авторлар бұл тұрғыда цифрлық кітапхана пайдаланушыларына интеллектуалды ұсыныстар беруге мүмкіндік беретін кластерлеудің нақты деңгейін қамтамасыз ету міндеті екенін атап көрсетеді. Қазіргі заманғы академиялық электронды кітапханалардың технологиялық негізін кластерлік талдау деп санауға болады, бұл бір кластердің ішіндегі объектілер бір-біріне өте ұқсас болатындай етіп, таңдамалы объектілерді белгілі бір кластерлерге бөлуді көздейді, ал әртүрлі кластерлердегі объектілер айтарлықтай ерекшеленеді. К. к. Креутц зерттеуінде. (2023), сандық кітапханаларды пайдалану кезінде ақпараттық жүйелердің мүмкіндіктері мен пайдаланушылардың мінез-құлқы арасындағы байланысты қарастыру қажеттілігі талқыланады. Осылайша, осы жұмыста жарияланған деректер жиынтығы пайдаланушылардың негізгі талаптарына сәйкес келетін сандық кітапханаларды модельдеуге арналған ықтимал шешімдерді ұсынады. Заманауи ака-

демиялық электронды кітапханаларды модельдеу әдістерін зерттеу кезінде пайдаланушылардың сұраныстары мен іздеу нәтижелері арасында байланыс орнату баспагер, журнал, сипаттама, тақырып, кілт сөздер және күн сияқты атрибуттарға негізделгені анықталды.

Интеллектуалды талдауды қолдана отырып, ұсыныстарды болжау мүмкіндігін кластерлеу арқылы қамтамасыз етуге болады, яғни пайдаланушылар профильдері мен іздеу критерийлері негізінде алдын ала топтастырылуы мүмкін. Зерттеуде А. Ковачевич және бірлескен автор. (2010) кластерлеу және болжамды жіктеу әдістерін сипаттайды. Электрондық кітапхананы модельдеудің логикалық әдісі объектілер арасындағы контекстік байланыстарға негізделген іздеу нәтижелерін болжауға негізделген. Университет кітапханаларының проблемасы-көбінесе қажетті ресурстар жеткізу уақытының кешігуіне байланысты бірден берілмейді. Д.М.М. Хан (2016) кітапханалар бірінші кезекте клиентке бағытталған болуы керек екенін көрсетеді. Пайдаланушылардың сұраулары туралы ақпаратты сауалнамалар мен сауалнамалардан алуға болады. Пайдаланушылар (студенттер) мен Университет кітапханасы арасында байланыс орнату электрондық кітапхананы модельдеудің құрылымдық-функционалдық әдісі арқылы жақсы бақыланады.

3. Лю мен Л. Луо (2011) Қытайдағы студенттер мен аспиранттардың электронды кітапханаларды пайдалануындағы айырмашылықтарға баса назар аудара отырып, қолданушы факторына баса назар аударады. Атап айтқанда, олар ақпарат іздеу тұрғысынан әртүрлі екіпіндерден туындайды. Электрондық кітапханалардың заманауи іздеу жүйелері әдетте мазмұн (тақырып, кілт сөздер, тақырып), жанр (журнал, Басылым) және сандық деректер (код, идентификатор) сияқты атрибуттарға негізделген. А. Исах және басқалар. (2013) Delos модельдері мен 5S теориясына назар аудара отырып, сандық кітапханаларды олардың компоненттері мен сипаттамалары бойынша зерттейді. Электрондық кітапханалардың ерекшеліктерін нақтылау үшін оларды өзара қолдану тұжырымдамасы талданады. Академиялық электронды кітапханаларды модельдеу олардың іздеу жүйелері (стандартты және жетілдірілген) және тақырыптық және жанрлық принциптер арқылы құрылымдалғанын көрсетті.

Осылайша, осы зерттеу нәтижелерін басқа зерттеушілердің нәтижелерімен салыстыру университеттердегі электрондық кітапханалар кітапхана ішіндегі объектілер арасындағы байланыстарды орнатуға, пайдаланушылардың сұраныстарын талдауға негізделген іздеу жүйесін құруға және материалдарды ыңғайлы пайдалану мен сақтаудың барлық жағдайларын қамтамасыз етуге негізделгенін көрсетті. Материалды санаттауға, іздеу жүйесін жақсарту әдістеріне және пайдаланушы мен кітапхана арасындағы кері байланысты қамтамасыз етуге баса назар аударылады.

Қорытындылар. Бұл зерттеу электронды кітапханалардың технологиялық тұжырымдамасын жүзеге асыру үшін келесі модельдеу әдістері қолданылатынын анықтады: Йель университетінің кітапханасының сандық жинақтарындағы іздеуді егжей-тегжейлі санаттау, Л. Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетіндегі функционалдылық, құрылым, басқару және технологиялар арасындағы нақты байланыстары бар жүйелік-функционалдық тәсіл. Гумилев, Кембридж университеті кітапханасының сандық жинақтарындағы семантикалық принциптерді қолдана отырып ақпараттық модельдеу және әл-Фараби кітапханасындағы іздеу атрибуттары арасын-

дағы иерархиялық қатынастарды қамтитын тұжырымдамалық модельдеу. Электрондық кітапханаларды дамытудың қазіргі кезеңінде материалдарды тұжырымдамалық (мазмұнды) модельдеу жиі қолданылатыны назар аудартады. Бұл әдіс арқылы бүкіл пәндік аймақ кітапхана объектілері мен атаулар, кілт сөздер, Жобалар, ғылыми журналдар және авторлар сияқты әртүрлі атрибуттар арасында иерархиялық байланыстар орнату арқылы жобаланады.

Қазақстандық, британдық және американдық электрондық кітапханалардың технологиялық параметрлерін салыстыра отырып, іздеу атрибуттарын қолдана отырып, ақпаратты санаттарға бөлу қарастырылып отырған барлық кітапханаларға тән екендігі атап өтілді. Үш кітапханада материалдардың тақырыптық сегментациясының болуы, ақпаратты ыңғайлы іздеу, ақпаратты оқылатын форматта беру және іздеу атрибуттары арасындағы байланысты қолдау сияқты параметрлер сақталады. Материалдарды жанр бойынша бөлу екі кітапханада бар. Технологиялық параметрлерді талдау нәтижесінде қазақстандық онлайн-ресурстар материалдарды жанрлық бөлу қағидаты бойынша құрылымдалғаны анықталды, ал британдық және американдық кітапханалар материалдарды бөлудің тақырыптық қағидаттарына бағдарланады.

Бұл зерттеудің мақсатына қол жеткізілді, өйткені ол электрондық кітапханаларды модельдеудің негізгі әдістерін талдап, қазақстандық және халықаралық университеттердегі кітапхана ресурстарының құрылымын модельдеді. Болашақ басым міндеттерге іздеу сұрауларын жақсарту үшін жаңа технологиялық шешімдерді әзірлеу, электрондық кітапханалардың технологиялық параметрлері арасындағы байланысты зерттеу, Ғаламдық электрондық кітапханалардың интерфейсі мен архитектурасын салыстыру, материалдардың тақырыптық және жанрлық мазмұнын зерттеу кіреді.

ӘДЕБИЕТ

1 Alzahrani, A. I., Mahmud, I., Ramayah, T., Alfarraj, O., Alalwan, N. 2019. Modelling digital library success using the DeLone and McLean information system success model. *Journal of Librarianship and Information Science*, 51(2), 291-306.

2 Berdykulova, G., Ipalakova, M.T., Kamysbayev, M., Daineko, Ye.A. 2020. Towards digital university: Experience of Kazakhstan. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS 2020 (ICEMIS'20)* (p. 57). New York: Association for Computing Machinery.

3 Budanović, M.P., Žumer, M. 2021. Prototype cataloging interface based on the IFLA library reference model (LRM). *Cataloging & Classification Quarterly*, 59(7), 619-643.

4 Guimei, S. 2019. The opportunities and challenges of digital libraries in the big data era. In: *2019 International Conference on Arts, Management, Education and Innovation (ICAMEI 2019)* (pp. 1082-1085). Seoul: Clausius Scientific Press.

5 Habibi, A., Mohd Faiz Mohd, Y., Sofwan, M. 2022. Student use of digital libraries during COVID-19: Structural equation modelling in Indonesian and Malaysian contexts. *The Electronic Library*, 40(4), 472-485.

6 Iqbal, M., Rafiq, M. 2023. Determinants of overall user success in an academic digital library environment: Validation of the integrated digital library user success (IDLUS) model. *The Electronic Library*, 41(4), 387-418.

7 Isah, A., Mutshewa, A., Serema, B.C., Kenosi, L. 2013. Digital libraries: Analysis of DELOS reference model and 5s theory. *Journal of Information Science Theory and Practice*, 1(4), 38-47.

- 8 Kamilova, Y., Yap, J. 2022. Subject librarianship in Kazakhstan: Exploring information literacy skills, functions, and practices. *International Journal of Media & Information Literacy*, 7(1), 132-144.
- 9 Khan, D.M.M. 2016. Supply chain management (SCM) revealing quality services in university libraries: Experience and realization. *MTC Global Journal of Management & Entrepreneurship*, 4(11), 93-100.
- 10 Kovacevic, A., Devedzic, V., Pocajt, V. 2010. Using data mining to improve digital library services. *The Electronic Library*, 28(6), 829-843.
- 11 Kreutz, C.K., Blum, M., Schaer, P., Schenkel, R., Weyers, B. 2023. Evaluating digital library search systems by using formal process modelling. In: *Joint Conference on Digital Libraries* (pp. 1-12). Santa Fe: IEEE.
- 12 Kummervold, P.E., De la Rosa, J., Wetjen, F., Brygfjeld, S.A. 2021. Operationalizing a national digital library: The case for a Norwegian transformer model. In: *Proceedings of the 23rd Nordic Conference on Computational Linguistics* (pp. 20-29). Reykjavik: Linköping University Electronic Press.
- 13 Lamba, M., Madhusudhan, M. 2022. Topic modelling and its application in libraries: A review of specialized literature. *World Digital Libraries*, 15(2), 105-120.
- 14 Lee, J., Kwon, N. 2023. The development of a public library data collection and analysis platform and its uses: A case study of the National Library Big Data Platform in Korea. *Malaysian Journal of Library & Information Science*, 28(2), 89-102.
- 15 Liu, Z., Luo, L. 2011. A comparative study of digital library use: Factors, perceived influences, and satisfaction. *The Journal of Academic Librarianship*, 37(3), 230-236.
- 16 McCray, A.T., Gallagher, M.E. 2001. Principles for digital library development. *Communications of the ACM*, 44(5), 48-54.
- 17 Nadirova, G. 2018. Libraries of the digital age: Examples from Kazakhstan. *Weekly e-Bulletin of Eurasian Research Institute*, 146. <https://eurasian-research.org/wp-content/uploads/2020/08/Weekly-e-bulletin-09.01.2018-15.01.2018-No-146.pdf>
- 18 Riady, Y., Sofwan, M., Mailizar, M., Alqahtani, T. M., Yaqin, L. N., Habibi, A. 2023. How can we assess the success of information technologies in digital libraries? Empirical evidence from Indonesia. *International Journal of Information Management Data Insights*, 3(2), 100192.
- 19 Shang, S., Mi, Y., Yang, L., Jiao, K., Sheng, F., Shen, Y., Guo, H. 2017. An overview of the development of university library in the information age. *Open Journal of Social Sciences*, 5(11), 1-10.
- 20 Tammaro, A.M., Tomaiuolo, M., Mordonini, M., Pellegrino, M., Demicelis, R. 2022. Building a sentiment analysis model for libraries: The CSBNO consortium approach. In: *Proceedings of the 18th Italian Research Conference on Digital Libraries*. Padova: CEUR Workshop Proceedings. <https://ceur-ws.org/Vol-3160/short6.pdf>
- 21 Tiurkedzhy, N.S., Davydova, I.O., Marina, O.Y., Marin, S.O. 2022. Accessibility analysis of digital libraries and specialized library resources. *University Library at a New Stage of Social Communications Development. Conference Proceedings*, 7, 218-231.
- 22 Tuenbayaeva, K., Kolbayev, N. 2022. Terminology and history of digital libraries. *Bulletin of History of Al-Farabi Kazakh National University*, 104(1), 184-190.
- 23 Upadhayay, D. 2020. Digital library: An innovation in infrastructure in learning and development amongst students. *IARS International Research Journal*, 10(1). <https://doi.org/10.51611/iars.irj.v10i1.2020.111>
- 24 Wang, H., Ding, J. 2022. Development strategy of intelligent digital library without human service in the era of “Internet+”. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 7892738.
- 25 Williams, D.J. 2023. Digital initiatives in academic libraries: Challenges and opportunities. *Libraries and the Academy*, 23(2), 387-398.

26 Yadav, P., Pervin, N. 2022. Towards efficient navigation in digital libraries: Leveraging popularity, semantics and communities to recommend scholarly articles. *Journal of Informetrics*, 16(4), 101336.

REFERENCES

- 1 Alzahrani, A. I., Mahmud, I., Ramayah, T., Alfarraj, O., Alalwan, N. 2019. Modelling digital library success using the DeLone and McLean information system success model. *Journal of Librarianship and Information Science*, 51(2), 291-306.
- 2 Berdykulova, G., Ipalakova, M.T., Kamysbayev, M., Daineko, Ye.A. 2020. Towards digital university: Experience of Kazakhstan. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS 2020 (ICEMIS'20)* (p. 57). New York: Association for Computing Machinery.
- 3 Budanović, M.P., Žumer, M. 2021. Prototype cataloging interface based on the IFLA library reference model (LRM). *Cataloging & Classification Quarterly*, 59(7), 619-643.
- 4 Guimei, S. 2019. The opportunities and challenges of digital libraries in the big data era. In: *2019 International Conference on Arts, Management, Education and Innovation (ICAMEI 2019)* (pp. 1082-1085). Seoul: Clausius Scientific Press.
- 5 Habibi, A., Mohd Faiz Mohd, Y., Sofwan, M. 2022. Student use of digital libraries during COVID-19: Structural equation modelling in Indonesian and Malaysian contexts. *The Electronic Library*, 40(4), 472-485.
- 6 Iqbal, M., Rafiq, M. 2023. Determinants of overall user success in an academic digital library environment: Validation of the integrated digital library user success (IDLUS) model. *The Electronic Library*, 41(4), 387-418.
- 7 Isah, A., Mutshewa, A., Serema, B.C., Kenosi, L. 2013. Digital libraries: Analysis of DELOS reference model and 5s theory. *Journal of Information Science Theory and Practice*, 1(4), 38-47.
- 8 Kamilova, Y., Yap, J. 2022. Subject librarianship in Kazakhstan: Exploring information literacy skills, functions, and practices. *International Journal of Media & Information Literacy*, 7(1), 132-144.
- 9 Khan, D.M.M. 2016. Supply chain management (SCM) revealing quality services in university libraries: Experience and realization. *MTC Global Journal of Management & Entrepreneurship*, 4(11), 93-100.
- 10 Kovacevic, A., Devedzic, V., Pocajt, V. 2010. Using data mining to improve digital library services. *The Electronic Library*, 28(6), 829-843.
- 11 Kreutz, C.K., Blum, M., Schaer, P., Schenkel, R., Weyers, B. 2023. Evaluating digital library search systems by using formal process modelling. In: *Joint Conference on Digital Libraries* (pp. 1-12). Santa Fe: IEEE.
- 12 Kummervold, P.E., De la Rosa, J., Wetjen, F., Brygfeld, S.A. 2021. Operationalizing a national digital library: The case for a Norwegian transformer model. In: *Proceedings of the 23rd Nordic Conference on Computational Linguistics* (pp. 20-29). Reykjavik: Linköping University Electronic Press.
- 13 Lamba, M., Madhusudhan, M. 2022. Topic modelling and its application in libraries: A review of specialized literature. *World Digital Libraries*, 15(2), 105-120.
- 14 Lee, J., Kwon, N. 2023. The development of a public library data collection and analysis platform and its uses: A case study of the National Library Big Data Platform in Korea. *Malaysian Journal of Library & Information Science*, 28(2), 89-102.
- 15 Liu, Z., Luo, L. 2011. A comparative study of digital library use: Factors, perceived influences, and satisfaction. *The Journal of Academic Librarianship*, 37(3), 230-236.
- 16 McCray, A.T., Gallagher, M.E. 2001. Principles for digital library development. *Communications of the ACM*, 44(5), 48-54.

- 17 Nadirova, G. 2018. Libraries of the digital age: Examples from Kazakhstan. *Weekly e-Bulletin of Eurasian Research Institute*, 146. <https://eurasian-research.org/wp-content/uploads/2020/08/Weekly-e-bulletin-09.01.2018-15.01.2018-No-146.pdf>
- 18 Riady, Y., Sofwan, M., Mailizar, M., Alqahtani, T. M., Yaqin, L. N., Habibi, A. 2023. How can we assess the success of information technologies in digital libraries? Empirical evidence from Indonesia. *International Journal of Information Management Data Insights*, 3(2), 100192.
- 19 Shang, S., Mi, Y., Yang, L., Jiao, K., Sheng, F., Shen, Y., Guo, H. 2017. An overview of the development of university library in the information age. *Open Journal of Social Sciences*, 5(11), 1-10.
- 20 Tammaro, A.M., Tomaiuolo, M., Mordonini, M., Pellegrino, M., Demicelis, R. 2022. Building a sentiment analysis model for libraries: The CSBNO consortium approach. In: *Proceedings of the 18th Italian Research Conference on Digital Libraries*. Padova: CEUR Workshop Proceedings. <https://ceur-ws.org/Vol-3160/short6.pdf>
- 21 Tiurkedzhy, N.S., Davydova, I.O., Marina, O.Y., Marin, S.O. 2022. Accessibility analysis of digital libraries and specialized library resources. *University Library at a New Stage of Social Communications Development. Conference Proceedings*, 7, 218-231.
- 22 Tuenbayaeva, K., Kolbayev, N. 2022. Terminology and history of digital libraries. *Bulletin of History of Al-Farabi Kazakh National University*, 104(1), 184-190.
- 23 Upadhayay, D. 2020. Digital library: An innovation in infrastructure in learning and development amongst students. *IARS' International Research Journal*, 10(1). <https://doi.org/10.51611/iars.irj.v10i1.2020.111>
- 24 Wang, H., Ding, J. 2022. Development strategy of intelligent digital library without human service in the era of "Internet+". *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 7892738.
- 25 Williams, D.J. 2023. Digital initiatives in academic libraries: Challenges and opportunities. *Libraries and the Academy*, 23(2), 387-398.
- 26 Yadav, P., Pervin, N. 2022. Towards efficient navigation in digital libraries: Leveraging popularity, semantics and communities to recommend scholarly articles. *Journal of Informetrics*, 16(4), 101336.

**Н. Ж. САБИТОВА^{1*}, Р. С. НИЯЗОВА¹, Б. С. АХМЕТОВ²,
В. А. ЛАХНО³, Ю. Л. ТИХОНОВ⁴, Л. М. КЫДЫРАЛИНА⁵,
Л. У. ТАЙМУРАТОВА.**

¹Л. Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті,
Астана, Қазақстан;

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,
Алматы, Қазақстан;

³Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті,
Киев, Украина;

⁴Шевченко атындағы Луганск Ұлттық университеті, Киев, Украина;

⁵Шәкәрім университеті, Семей, Қазақстан;

⁶Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,
Ақтау, Қазақстан.

e-mail: *sab_nazym@mail.ru, rozamgul@list.ru, bakhytzhana.akhmetov.54@mail.ru,
valss21@ukr.net, uruytikhonov1@gmail.com, lazat_75@mail.ru,
taimuratova@mail.ru

КОМПЬЮТЕРЛІК ОНТОЛОГИЯ НЕГІЗІНДЕ АКТ ПӘНДІК САЛАСЫНДАҒЫ ЭЛЕКТРОНДЫҚ КУРСАРДЫ ДАЙЫНДАУ МОДЕЛІ

Ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (АКТ) бойынша электрондық оқулық үшін онтологияларды автоматтандырылған өңдеудің ақпараттық технологиясын іске асыруға арналған онтологиялық модель негізінде АКТ саласындағы электрондық курстарды жобалаудың әдіснамалық негіздері ұсынылады. Онтологиялық модельдің АКТ мысалға ала отырып, пәндік салалардың (ЖСО) онтологияларын автоматтандырылған компьютерлендірілген өңдеудің ақпараттық технологиясын іске асыруға арналғаны көрсетілген, бұл контентті ЖСО дамуына қарай өзектілендіру мүмкіндігімен осы пәндік саланың қазіргі жай-күйіне сәйкес келетін ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласындағы сай контент негізінде электрондық курстарды (ЭК) және/немесе электрондық оқулықтарды (ЭО) іске асыруға байланысты рәсімдерді жеңілдетуге мүмкіндік береді. Компьютерлік онтологиялар негізінде ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласына тән пәндік салалардың онтологияларын автоматтандырылған өңдеу бойынша ақпараттық технологиялар үйлесімін қалыптастыратын процестердің функционалдық және ақпараттық моделі іске асырылды. Сондай-ақ модельдеу технологияларына талдау жасалды, атап айтқанда, IDEF, DFD, UML сияқты технологиялар қарастырылды, оларды күрделі жүйелерді, мысалы, орта мектеп оқушыларына арналған ақпараттық-коммуникациялық технологиялар саласындағы ЭК және/немесе ЭО жобалау кезінде қолдануға болады. Зерттеу барысында алынған нәтижелер ең алдымен орта мектеп оқушыларына арналған АКТ саласында электрондық курстарды және/немесе электрондық оқулықтарды дайындаудың тиімділігін арттыруға бағытталған. Алайда мақалада ұсынылған нәтижелер ЭК және/немесе ЭО құру үшін де, білім сипаттамасын формалдаудың жоғары деңгейімен және осы пәндік-тәртіптік салалардың компьютерлік онтологияларының болуымен сипатталатын басқа пәндік салалар үшін де қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: электрондық курстар, электрондық оқулықтар, онтология, пәндік сала, UML, IDEF, DFD, Composite, Pgoxy.

**Н. Ж. САБИТОВА^{1*}, Р. С. НИЯЗОВА¹, Б. С. АХМЕТОВ²,
В. А. ЛАХНО³, Ю. Л. ТИХОНОВ⁴, Л. М. КЫДЫРАЛИНА⁵,
Л. У. ТАЙМУРАТОВА⁶.**

¹Евразийский национальный университет им. Н. Гумилева,
Астана, Казахстан;

²Казахский национальный педагогический университет им. Абая,
Алматы, Казахстан;

³Национальный университет биоресурсов и природопользования,
Киев, Украина;

⁴Луганский национальный университет им. Шевченко,
Киев, Украина;

⁵Университет Шакарима, Семей, Казахстан;

⁶Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова,
Актау, Казахстан.

e-mail: *sab_nazym@mail.ru, rozamgul@list.ru, bakhytzhan.akhmetov.54@mail.ru,
valss21@ukr.net, uruytikhonov1@gmail.com, lazat_75@mail.ru,
taimuratova@mail.ru

МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ ЭЛЕКТРОННЫХ КУРСОВ В ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ИКТ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОНТОЛОГИИ

Для электронного учебника по информационно-коммуникационным технологиям (ИКТ) предлагаются методологические основы проектирования электронных курсов в области ИКТ на основе онтологической модели для реализации информационных технологий автоматизированной обработки онтологий. Показано, что онтологическая модель предназначена для реализации информационных технологий автоматизированной компьютеризированной обработки онтологий предметных областей (ВСС) на примере ИКТ, что позволяет актуализировать данный контент по мере развития ВСС на основе соответствующего контента в области информационно-коммуникационных технологий, соответствующего современному состоянию данной предметной области, с использованием электронных курсов (ЭК) и/или электронных учебников (ЭЦ) позволяет упростить процедуры, связанные с реализацией. На основе компьютерных онтологий реализована функциональная и информационная модель процессов, формирующих сочетание информационных технологий по автоматизированной обработке онтологий предметных областей, характерных для области информационно-коммуникационных технологий. Также был проведен анализ технологий моделирования, в частности, были рассмотрены такие технологии, как IDEF, DFD, UML, которые могут быть использованы при проектировании сложных систем, таких как ЭК и/или ЭО в области информационных и коммуникационных технологий для старшеклассников. Полученные в ходе исследования результаты направлены, прежде всего, на повышение эффективности подготовки электронных курсов и/или электронных учебников в области ИКТ для учащихся средних школ. Однако результаты, представленные в статье, могут быть использованы как для создания ЭК и/или ЭО, так и для других предметных областей, характеризующихся высоким уровнем формализации описания знаний и наличием компьютерных онтологий этих предметно-дисциплинарных областей.

Ключевые слова: электронные курсы, электронные учебники, онтология, предметная область, UML, IDEF, DFD, Composite, Peoxy.

**N. ZH. SABITOVA^{1*}, R. S. NYAZOVA¹, B. S. AKHMETOV², V. A. LAKNO³,
Y. L. TIKHONOV⁴, L. M. KYDYRALINA⁵, L. U. TAIMURATOVA⁶.**

¹L. N. Gumileva Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan;

³National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

⁴Shevchenko Lugansk National University, Kiev, Ukraine;

⁵Shakarim University, Semey, Kazakhstan;

⁶Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov,
Aktau, Kazakhstan.

e-mail: *sab_nazym@mail.ru, rozamgul@list.ru, bakhytzhana.akhmetov.54@mail.ru,
valss21@ukr.net, uruytikhonov1@gmail.com, lazat_75@mail.ru, taimuratova@mail.ru.

A MODEL FOR PREPARING E-COURSES IN THE ICT SUBJECT AREA BASED ON COMPUTER ONTOLOGY

For an electronic textbook on information and communication technologies (ICT), methodological foundations for the design of electronic courses in the field of ICT based on an ontological model for the implementation of information technologies for automated processing of ontologies are proposed. It is shown that the ontological model is designed to implement information technologies for automated computerized processing of ontologies of subject areas (VSS) using the example of ICT, which allows updating this content as the VSS develops on the basis of relevant content in the field of information and communication technologies corresponding to the current state of this subject area, using electronic courses (EC) and/or electronic textbooks (ETS) simplify the procedures associated with the implementation. On the basis of computer ontologies, a functional and information model of processes is implemented that form a combination of information technologies for automated processing of ontologies of subject areas characteristic of the field of information and communication technologies. Modeling technologies were also analyzed, in particular, technologies such as IDEF, DFD, UML were considered, which can be used in the design of complex systems such as EC and/or EO in the field of information and communication technologies for high school students. The results obtained in the course of the study are primarily aimed at improving the effectiveness of the preparation of electronic courses and/or electronic textbooks in the field of ICT for secondary school students. However, the results presented in the article can be used both to create EC and/or EO, as well as for other subject areas characterized by a high level of formalization of knowledge description and the presence of computer ontologies of these subject-disciplinary areas.

Key words: e-courses, e-textbooks, ontology, subject area, UML, IDEF, DFD, Composite, Proxy.

1. Кіріспе. Интеллектуалды ақпараттық технологиялар экономикалық, ғылыми-техникалық, гуманитарлық-білім беру және басқа да қызмет салаларындағы процестерге әсер етеді. Әлемдік қоғамды ақпараттандыру немесе цифрландыру IT – бағдарланған қоғамдастықты құруға бағытталған. Білім инженериясы технологияларының маңызы артуда. Білім инженериясының мысалы ретінде онтологиялық инжинирингті де атап өтуге болады. Қазіргі заманғы АТ білімді басқаруды (Knowledge Management) қолданады. Бұл бағыттағы жетістіктер компьютерлік жүйелердің тиімділік деңгейімен анықталады деп айтуға болады [1–5]. Жоғарыда аталған еңбектерде көрсетілгендей, білім қорларына (бұдан әрі мәтінде – БҚ) негізделіп құрылған ақпараттық жүйелерді құру, олардан онтологияларды қолдану аспектілерін алу үшін пәндік салаларды

(бұдан әрі мәтінде – ЖСО) онтологиялық талдау әдістерін әзірлеу бойынша ғылыми зерттеулер жандандырылуда. Соңғысы, мысалы, электрондық оқу курстарын (ЭК) және электрондық оқулықтарды (ЭО) әзірлеу тұрғысынан қызығушылық тудырады.

Осы бағытта жаңа зерттеулер жүргізудің өзектілігі осындай факторларға байланысты [6].

Біріншіден, адамзаттың өркениетті дамуына қарай жинақталған білімнің көп бөлігі мәтін түріндегі құжаттарда қамтылған. Жаңа мәтіндік ақпараттың артуы (әсіресе Интернет желісінде) мәтін түріндегі білім көздерін толығымен өңдеуге, сондай-ақ компьютерлік жүйелерде бар әдістермен сай ЭК алуға іс жүзінде мүмкіндік болмауына әкеліп соқты. Бұл ақпараттың бір бөлігінен айырылуға және ЭК өзектілігін жоғалтуға әкеледі.

Екіншіден, көбінесе тіпті қазіргі заманғы ДК де ЭК және/немесе ЭО үшін мәтіндік ақпаратты толық өңдеуді жедел орындау үшін жеткілікті түрде өнімді емес. Бұл әсіресе жаңа пәндерге, мысалы, АКТ-ны дамытуға қатысы бар пәндерге арналған ЭК-ға және ЭО-ға қатысты. Бұл АКТ-ның бүгінде озық қарқынмен дамып келе жатқандығына байланысты. Бұдан да ескі электрондық басылымдар туралы айтпағанның өзінде, тіпті бір жыл бұрынғы ЭК-да және/немесе ЭО-да оқушылар меңгеруі керек құзыреттіліктің қажетті (талап етілетін) деңгейі әрдайым дәлме-дәл көрсетіле бермейді.

Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, осы бағыттағы жаңа зерттеулердің өзектілігі сәулеттік-құрылымдық ұйымдастырудың тиімді әдістемелерін әзірлеу және АКТ саласындағы, әсіресе орта мектеп оқушыларына арналған ЭК және ЭО үшін сай келетін контентті жинақтау қажеттігіне негізделеді дей аламыз. Біздің ойымызша, мұндай әдістемелер мектептер мен колледждердегі оқытушылардан бастап білім беру қызметтері нарығында өздерінің ЭК және/немесе ЭО ұсынатын коммерциялық құрылымдарға дейін барлық мүдделі тұлғаларға пәндік білімді өңдеу арқылы сай келетін ЭК және/немесе ЭО жобалауға ғана емес, сонымен қатар АКТ саласының контентіне тән пәндік сабақтардың мәтіндік ақпаратының орасан зор көлемін өңдеу негізінде оларды жинақтау процесін цифрландыруға мүмкіндік береді.

2. Материалдар және негізгі әдістер. Бірқатар авторлар көрсеткендей [6, 7, 8], компьютерлік онтологиялар (КО немесе КОӨ) әдісіне негізделген ЭК және/немесе ЭО жобалау әдістемесі тиісті қолданбалы жүйені (құралнамасын) құруды қажет етеді. Мұндай бағдарламалық қамтылымды (бұдан әрі – БҚ) әзірлеу кезінде объектіге бағдарланған технология негізгісіне айналды. Авторлар [9, 10] кез келген қолданбалы жүйені әзірлеу ол қанағаттандыратын талаптарды талдаудан басталатынын атап көрсетеді. Осы талдау барысында жүйенің мақсаты мен пайдаланылу талаптары анықталады, сонымен қатар оның бастапқы жобасы әзірленеді. [6, 11] еңбектерде көрсетілгендей, жүйеге объектіге бағдарланған тәсіл (ОБТ) қолданылған кезде әдетте алдымен осы жүйенің моделі әзірленеді. Мұны UML тілінің негізінде жасауға болады, ол тиісті БҚ жүйелерінің артефактілерін, мысалы, ЭК өзгешеліктерін анықтауға, оларды көрнекілуге, құрастыруға және құжаттауға мүмкіндік береді.

Кез келген жүйені, мысалы, анықтамалық, тізімдер, жіктеуіштер сияқты нормативтік анықтамалық ақпаратты қамтамасыз ететін ішкі жүйе объектілерінсіз әзірлеу мүмкін емес. UML терминологиясында Анықтамалық (Referens) термині қолданылады.

Е. Гам, Р. Хельм, Р. Джонсон, Дж. Влосирдес, А. Филесев, В. Беркович, А. С. Моисеев еңбектерінде [12–15] ОБТ құралдары арқылы нормативтік анықтамалық ақпараттың ішкі жүйесін іске асыру кезінде анықтамалықтарды олардың тәжірибеде қолданылуына қарай мынадай төрт түрге бөлуге болатындығы көрсетілген: жай, бағынышты, иерархиялық, иерархиялық бағынышты. Онтологиялық модельде кез келген түрдегі анықтамалықты қолдануға болады. Жай анықтамалықтарға тек мынадай екі деректеме міндетті болып табылатын анықтамалықты жатқызуға болады: 1) элементтің атаулары; 2) анықтамалық элементінің бірегей сәйкестендіргіші. Әрине, анықтамалықтың бұл түрі пайдаланушыға пайдаланушы интерфейсі деңгейінде кәдімгі кесте түрінде жасалған элементтер жинағы түрінде ұсынылған.

3. Зерттеудің негізгі бөлімі. Пәндік салалардың компьютерлік онтологиялары (КО) негізінде ЭК және/немесе ЭО автоматтандырылған түрде құрудың ақпараттық технологиясын (АТ) жобалау, іске асыру әдіснамасын әзірлеу қажет. Сондай-ақ бұл процестердің әдіснамасында процестердің ақпараттық және функционалдық моделін жинақтау рәсімдері қамтылады, олардың негізінде КО негізінде пәнге бағдарланған білімді өңдеу арқылы ЭК және/немесе ЭО жобалаудың жалпы теориялық негізі жатыр.

Жалпы бірқатар процестерден тұратын және ерікті ЖСО-да онтологиялар негізінде ЭК-ны және/немесе ЭО-ны автоматтандырылған түрде құру міндетін шешуге бағытталған жобаланатын АТ моделін былайша көрсетуге болады [6, 16]:

$$S = \langle P, A, X \rangle, \tag{1}$$

мұндағы:

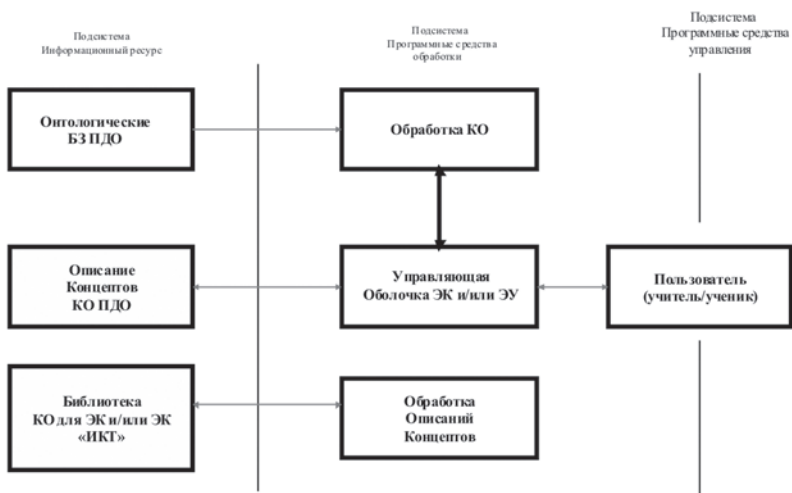
негізгі жиындар

$P = \{p_i\}, i = (1, n)$ – ЭК және/немесе ЭО құруға байланысты АТ іске асыратын процестер;

$A = \{A_j\}, j = (1, m), m \geq n$ – алгоритмдер - АТ процестерін іске асыратын жиындар;

X – ЖСО-ны сипаттайтын мәндер.

Тұжырымдамалық тұрғыдан модель схемасы 1-суретте көрсетілген.



1-сурет – Модель схемасы

1-суретте көрсетілген модель үш ішкі жүйені қамтиды. Формалды түрде схемадағы модель КО, КО өңдеудің бағдарламалық құралдары және өзара әрекеттесетін процестерді басқаруға байланысты міндеттерді шешуге арналған бағдарламалық құралдар негізінде ақпараттық ресурстар шоғырын бейнелейді. Бұл процестер іс жүзінде ЭК-ны және немесе ЭО-ны автоматтандырылған түрде дайындау рет-тәртібінің жиындарын жүзеге асырады. Ішкі жүйелерді толығырақ қарастырайық.

ЭК және/немесе ЭО әзірлеу кезінде, мысалы, АКТ бойынша, әдіснама тұрғысынан неғұрлым күрделі және маңызды бөлік – пәндік сабақтар (ПС) онтологиясын жобалау. АКЖ ПС үшін ЭК және/немесе ЭО автоматтандырылған түрде құру үшін ПС онтологиясын жобалаудың формалданған әдістемесін қолдану қажет. Бұдан өзге, Protege сияқты мамандандырылған БҚ пайдалануға болады. ПС онтологиясын автоматтандырылған түрде құру үшін бастапқы ақпарат нақты ПС бойынша бұрыннан бар ЭК және/немесе ЭО болады.

Онтологияны құру үшін мынадай ақырлы жиындарды тізбекті түрде анықтаймыз [6, 16]:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_l\} - \text{ПС ұғымдары};$$

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_k, \dots, r_K\}, R: x_1 \times x_2 \times \dots \times x_l, k = \overline{1, K}, K = \text{Card } R$ – ПС ұғымдары арасындағы семантикалық маңызды қатынастар;

$F: X \times R = \{f_h\}: \{x_i\} \times \{r_k\}, h = \overline{1, H}, H = \text{Card } F$ – ПС ұғымдарында және/немесе қатынастарында берілген интерпретация функциялары.

КО негізіндегі ЭК және/немесе ЭО жобалаудың функционалдық моделі UML көмегімен іске асырылған. Диаграммалардың мынадай 3 түрі қолданылды:

пайдалану нұсқаларының диаграммасы;

белсенділік диаграммасы (2-сурет);

класс диаграммасы (3-сурет).

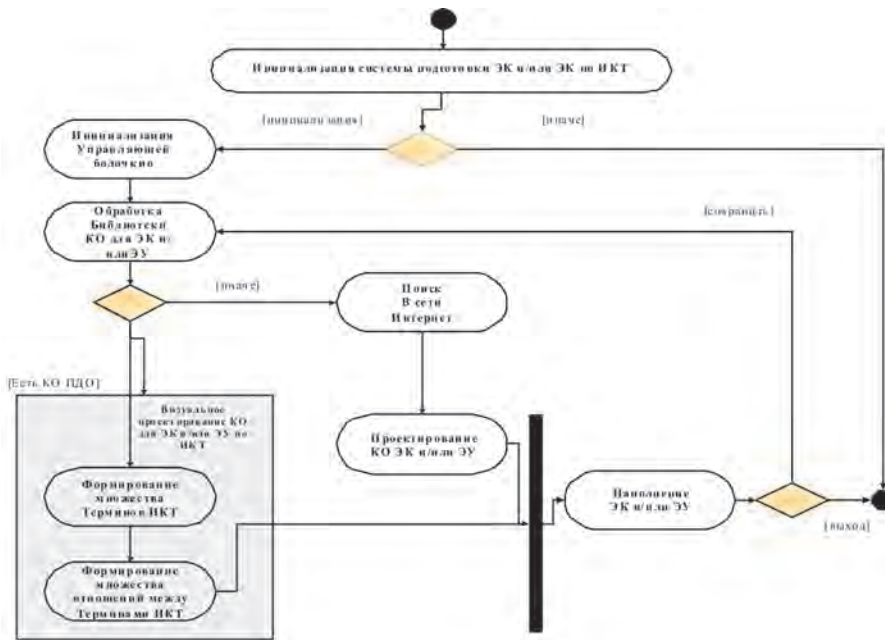
Пайдалану нұсқаларының диаграммасы мыналарды айқындайды:

1. ЖСО жалпы шекаралары, мысалы, АКЖ пәні бойынша ЭК және/немесе ЭО іске асыру кезінде.

2. Жобаланатын жүйенің функционалдық сипатына қойылатын жалпы талаптар.

3. Жүйенің бастапқы моделі.

Диаграммалар мәндер жиыны (актерлер – actor) түрінде ұсынылады. Мәндер жүйемен 2-суретте көрсетілгендей тиісті пайдалану нұсқалары арқылы өзара әрекеттеседі. Актор жүйемен (мысалы, ЭК) сырттан өзара әрекеттесетін кез келген мән болуы мүмкін. Яғни адамдар, техникалық құрылғылар, БҚ немесе кез келген сыртқы жүйе актер бола алады. Мәселен, сыртқы жүйелер модельденетін жүйеге әсер ету көзі бола алады. Пайдалану нұсқасы жүйенің актерге ұсынатын сервистерін сипаттайды.



2-сурет – ЭК және/немесе ЭО үшін белсенділіктің UML-диаграммасының мысалы

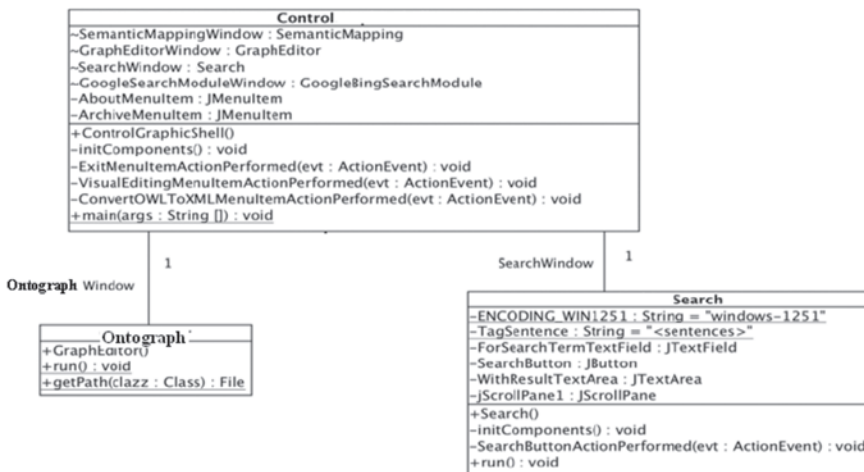
Класс диаграммасы объектілердің құрылымын сипаттай алады, бұл ретте олардың қатысуын сипаттайды: даралық; ерекше белгілер; функциялар; рәсімдер; және соңында басқа объектілермен өзара қарым-қатынастар бойынша мүмкіндіктер.

Мәселен, 3-суретте кластардың UML-диаграммасының үзіндісі көрсетілген, атап айтқанда, келесі кластар:

Search – КО кітапханасын өңдеуді жүзеге асырады;

Ontograph – ЭК және/немесе ЭО КО көзбен шолып жобалауды жүзеге асырады;

Control – ЭК және/немесе ЭО басқару қабығын жүзеге асырады.



3-сурет – ЭК-ға және/немесе ЭО-ға тән кластардың UML-диаграммасының үзіндісі

Анықтамалықтарда Composite және Proxu дайын үлгілері қолданылды [6, 12, 16]. Анықтамалық класында ЭК және/немесе ЭО мазмұнын көрсету үшін тиісті операциялар анықталған. Анықтамалықтың және оның элементтерінің деректерімен жұмыс қамтамасыз етіледі (анықтамалықтағы элементті іздеуге жауапты операциялар). Мұндай әдістің кем дегенде үш түрі бар: атауды іздеу, бірегей сәйкестендіргішті іздеу, анықтамалық элементін таңдау. Иерархиялық және бағынышты анықтамалықтарда таңдалған анықтамалық элементі үшін иесінің элементін айқындауға болатын операциялар қажет.

ЖСО онтологияларын өңдеу және Composite (құрастырушы) дайын үлгісін қолдана отырып анықтамалық ақпаратты іске асыру зерттеу барысында төменде ұсынылған нәтижелерді алуға мүмкіндік берді.

4. Нәтижелер. Егер анықтамалық өз элементтерінің жиымымен жұмыс істесе, онда элемент өз деректемелерінің жиымымен жұмыс істейді. Демек, элементте тиісті деректемелерді енгізуге, өзгертуге, жоюға байланысты операциялар болады. Анықтамалықтармен жұмыс істегенде оның ЭК және/немесе ЭО жүйесінің біртұтас объектісін құрайтын жиын қарастырған ыңғайлы. Бұл ретте ұғымдар арасында мынадай айырмашылықтар қалыптасады: анықтамалық элементтерінің жинағы және тікелей элемент. Анықтамалықтарды жобалау кезінде, мысалы, ЭК және/немесе ЭО үшін. Бұл жобалаудың дайын үлгісін – Composite (құрастырушы) қамтамасыз етеді. Бұл дайын үлгі объектілерді құрылымдайды. Ол объектілерді дарак тәрізді құрылымдар түрінде құрастырады. Бұл иерархияларды «бөлшек-бүтін» жүйесі түрінде көрсетуге мүмкіндік беріп, сәйкесінше жеке және құрама объектілерді біркелкі түсіндіруге түрткі болады. Осы дайын үлгіні қолдана отырып, ЭК және/немесе ЭО үшін анықтамалықтарды жобалау кезінде алдымен қарапайымдар контейнерлері ретінде әрекет ететін қарапайымдар кластарын бөліп көрсету керек. Ұсақ объектілерді үлкенірек объектілерге топтастыру керек. Бұл ретте рекурсивті композиция қолданылады. Бұл жай және құрастырылған объектілер арасындағы сәйкессіздіктерге назар аудармауға мүмкіндік береді. Composite типті дайын үлгінің кілті – дерексіз класс. Мұндай класс бір мезгілде қарапайымдарды да, контейнерлерді де (Анықтамалық) білдіреді. Онда анықтамалықтардың әрбір түріне тән және барлық құрастырылған объектілерге ортақ операциялар көрсетілуі мүмкін. Бұл дайын үлгіні іске асыру үшін мыналар анықталады:

1. Referens – осындай функцияларды орындайтын анықтамалық.

– Мыналарды хабарлайды:

– Объектілерге арналған интерфейс;

– Ұрпақтарға қол жеткізуге және оларды басқаруға арналған интерфейс;

– Рекурсивті құрылымдарда әкеге қол жеткізуге арналған интерфейс және қажет болған жағдайда оны іске асырады.

Барлық объектілерге ортақ қажетті операция ұсынады.

2. Item – мынадай элемент:

– ЭК және/немесе ЭО композициясындағы қарапайым объектілердің сипатын анықтайды;

– ЭК және/немесе ЭО композициясының жапырақшалы түйіндерін ұсынады.

3. Composite – мынадай функцияларды іске асыратын құрамдас объект:

жалпы анықтамалықтың сипатын анықтау;

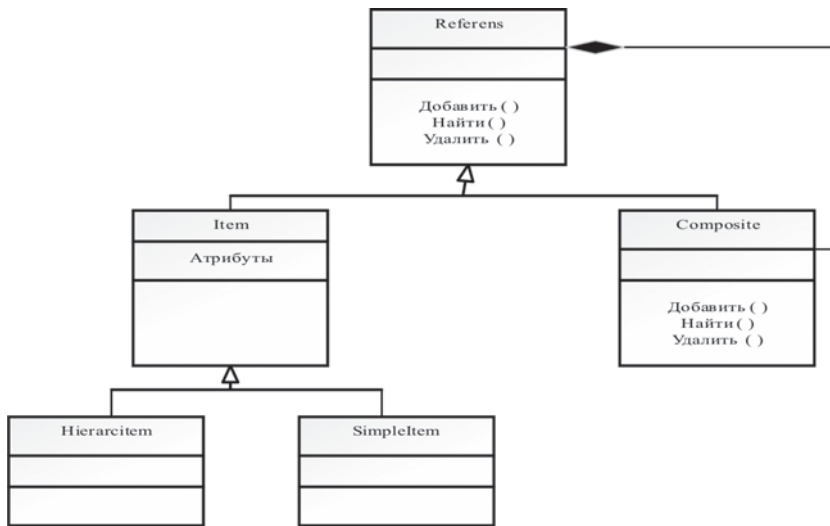
Ұрпақ-құрауыштарды сақтау (біздің жағдайымызда – АКЖ бойынша анықтамалық элементтері);

– Ұрпақтарды басқаруға қатысты Referens класының интерфейсінде операцияларды іске асыру.

4. Client – мынадай функцияларды іске асыратын клиент:

– Referens интерфейсі арқылы ЭК және/немесе ЭО композициясының объектілерін басқару.

Біраз ықшамдалған түрде жоғарыда сипатталған құрылым былайша ұсынылуы мүмкін (4-суретті қараңыз):



4-сурет – Composite дайын үлгісінің мұрагерлік диаграммасы

ЭК және/немесе ЭО әзірлеу барысында, мысалы, АКЖ бойынша және жобалаудың тиісті дайын үлгісін іске қосу нәтижесінде мыналарды бөліп көрсетуге болады: қарапайым және құрастырылған объектілерден тұратын кластар иерархиясының анықтамасы. Клиенттер жеке объектілермен және құрастырылған құрылымдармен біркелкі жұмыс істей алады.

Клиенттер жеке объектілермен және құрастырылған құрылымдармен біркелкі жұмыс істей алады. Клиентке қарапайым немесе құрастырылған объектімен өзара әрекеттесетіні беймәлім. Қандай класс объектісімен өзара әрекеттесетініне байланысты тармақталатын функцияларды жазу қажет емес. Бұдан өзге, анықтамалықтардың жаңа түрлерін қосу процесі жеңілдетілген. Composite немесе Item кластарының жаңа ішкі кластары қолданыстағы құрылымдармен және ЭК және/немесе ЭО клиенттік кодымен автоматты түрде өзара әрекеттесе алады.

Құрастырушы дайын үлгісін іске асыру кезінде мыналарды назарға алу қажет:

1. Ата-аналарға айқын сілтемелердің болуын. Анықтамалықта өз әкесіне сілтемені сақтау фактісі құрылымды айналып өтуді және оны басқаруды жеңілдетеді. ЭК

және/немесе ЭО іске асыру кезінде Referens класындағы әкеге сілтемені анықтау ұсынылады. Бұл жағдайда Item және Composite кластары сілтеме мен онымен операцияларды мұра етеді.

2. Referens класының интерфейсінің барынша кеңейтілуін. Referens Composite және Item кластарына ортақ ең көп операцияларды орындауы керек.

3. Ұрпақтарды басқаруға арналған операциялардың топтастырылуын. Referens типті класта «Қосу» және «Жою» операциялары іске асырылды. Бұл кластар сәйкесінше, мысалы, ЭК және/немесе ЭО контенті өзгерген жағдайда ұрпақтарды қосу және жою үшін пайдаланылуы мүмкін. Алайда құрастырушының дайын үлгісі үшін бұл операциялардың қай кластарда көрсетілгені маңызды. Егер жергілікті класс иерархияларында ұрпақтарды басқаруға арналған интерфейс көрсетілсе, онда белгілі бір айқындыққа қол жеткізе аламыз. Алайда бұл қауіпсіздікті азайтады, өйткені клиент жапырақшалы түйіндерінен объектілерді қосу немесе жою сияқты мағынасыз әрекеттерді орындап көруі мүмкін. Егер ұрпақты басқаруды Composite класының бөлігі ретінде іске асырсақ, онда ЭК-да және/немесе ЭО-да деректердің қауіпсіздігін қолайлы деңгейде қамтамасыз етуге болатындығын атап өтеміз. Бұл ретте айқындықты сақтаймыз.

4. Өнімділікті арттыру үшін кәштеуді. Composite класы дарақты айналып өту және тиісті іздеу туралы ақпаратты кәштеуді іске асырады. Кәштеу іске асыруға мүмкіндік береді немесе нәтижелер алынған болып шығады. Құрауыштағы кез келген өзгеріс оның барлық ата-аналарының кәштерін тудырумен бірге жүруге тиіс. Бұл тәсіл құрауыштарға олардың ата-аналары туралы ақпарат мәлім болған жағдайда барынша тиімді болады.

5. Кімнің құрауыштарды жоюға мүмкіндігі бар және жоюы керек екенін. Composite класына өз ұрпақтарын жою мүмкіндігі берілген іске асыру орындалды. Бұл қағидаға жапырақшалы объектілер тұрақты болған жағдайлар кірген жоқ.

7. Сақтау үшін қандай құрылым ең қолайлы екенін.

Біздің жағдайымызда құрастырылған объектілер өз ұрпақтарын әр түрлі деректер құрылымдарында сақтай алатыны анықталды. Кез келген ЭК-ға және/немесе ЭО-ға тән мұндай құрылымдарға байланыстырылған тізімдерді, дарақтарды, жиымдарды және кесте түріндегі кәш құрылымдарын жатқызуға болады.

АКЖ пәніне арналған ЭК анықтамалығын іске асыру кезінде бұл дайын үлгі объектілерді құрылымдайтын және негізінен басқа объектіні алмастырушы болып табылатын және оған қолжетімділікті бақылайтын Proxu [12] (орнын басушы) дайын үлгісімен бірге қолданылды. Бұл ретте мынадай бірқатар мәселелер шешілді:

– анықтамалық объектісінің орнына нені қою керек?

– талап ету бойынша объектілерді құру процестерін қалай қамтамасыз етуге болады?

– АКЖ пәндеріне арналған анықтамалық әдістерін іске асыруға қатысты онтайландыру кодта көрсетілмеуі үшін қалай жасауға болады?

Басқа объектіні – Proxu объектісін («анықтамалықтың орнын басушы») іске қосу туралы шешім табылды. Бұл объект нақты анықтамалықтың орнына уақытша ұсынылады. Proxu объектінің өзі сияқты әрекет етеді. «Анықтамалықтың орнын басушы» дайын үлгісін объектіге түрліше сілтеме жасау қажет болған жағдайларда да қолданған орынды.

5.Талқылау. Клиент-сервер архитектурасын қолдана отырып, ЭК және/немесе ЭО әзірлеу кезінде анықтамалық үшін Proxu дайын үлгісін іске асыру толықтыру серверінде де, клиент жағында да орын алады. Толықтырулар серверінде бірінші рет қолданған кезде объектіні еске салуға жүктеуді, бұғаттауды, ЭК және/немесе ЭО объектілеріне кіру құқығын, объектіні жадтан көшіріп алу үшін объектіге сілтемелер санын есептеуді жүзеге асыруға болады. Клиент жағында ең кемінде бірінші рет қолданған кезде объектіні еске салуға жүктеуді іске асыруға, сондай-ақ тағы бір оңтайландыруды жүзеге асыруға болады. Бұл өзгертілген объектіні көшіруге байланысты. Объект шынымен өзгертілген жағдайда ғана көшіріледі.

ЭК және/немесе ЭО үшін анықтамалықты жобалау кезінде ЖСО онтологияларын өңдеу рәсімдері үшін Composite және Proxu үлгілерін жалпы пайдалану орынды. Орнын басушының көмегімен анықтамалық объектісіне жанама қол жеткізіледі және оны іске асыруда басқа анықтамалық объектісіне сілтеме сақталады. Сондай-ақ Proxu клиентке ауыстырылатын анықтамалық объектісінің интерфейсімен сәйкес келетін интерфейсті ұсынады. Құрастырушы анықтамалықты физикалық деңгейде іске асырумен, яғни негізгі әдістерді іске асырумен айналысады. Proxu клиент деңгейінде де, толықтырулар серверінде де анықтамалық объектісінің жұмысын оңтайландырумен айналысады.

Осылайша, Composite және Proxu үлгілерін пайдалану – еңбекте жазылған ЭК және/немесе ЭО жобалаудың әдіснамалық негіздерінің ажырамас бөлігі. Бұл үлгілерді қолдану, атап айтқанда, АКТ сияқты ЖСО онтологияларын өңдеу рәсімдерін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Алынған нәтижелер электрондық курстарды және/немесе электрондық оқулықтарды дайындау процесінің тиімділігін арттыруға бағытталған.

6. Қорытынды. Осы мақала аясында жүргізілген зерттеулердің нәтижесінде мынадай негізгі нәтижелер алынды:

– онтологиялық модельді қолдану негізінде ақпараттық-коммуникациялық технологиялар (АКТ) саласындағы электрондық курстарды (ЭК) және/немесе электрондық оқулықтарды (ЭО) жобалау әдіснамасы ұсынылды;

– мақалада ұсынылған онтологиялық модельдің ең алдымен АКТ пәндік салаларының онтологияларын автоматтандырылған өндеудің ақпараттық технологиясын іске асыруға арналғаны көрсетілді, бұл контентті қажеттігіне қарай өзектілендіру мүмкіндігімен осы пәндік саланың қазіргі жай-күйіне сәйкес келетін АКТ саласындағы сай контент негізінде ЭК және/немесе ЭО іске асыруға байланысты рәсімдерді жеңілдетуге мүмкіндік береді;

– жиында компьютерлік онтологиялар (КО) негізінде АКТ саласына тән пәндік салалардың онтологияларын автоматтандырылған өндеу бойынша ақпараттық технологиялар үйлесімін қалыптастыратын процестердің функционалдық және ақпараттық моделі іске асырылды;

– модельдеу технологияларына талдау жасалды, атап айтқанда, IDEF, DFD, UML сияқты технологиялар қарастырылды, оларды күрделі жүйелерді, мысалы, орта мектеп оқушыларына арналған АКТ саласындағы ЭК және/немесе ЭО жобалау кезінде қолдануға болады;

– КО негізінде АКЖ саласында ЭК жобалаудың функционалдық моделін сипаттайтын UML-диаграммалар келтірілді.

Алынған нәтижелер ең алдымен орта мектеп оқушыларына арналған АКТ саласында электрондық курстарды және/немесе электрондық оқулықтарды дайындаудың тиімділігін арттыруға бағытталған. Алайда мақалада ұсынылған нәтижелер ЭК және/немесе ЭО құру үшін де, білім сипаттамасын формалдаудың жоғары деңгейімен және осы пәндік-тәртіптік салалардың КО болуымен сипатталатын басқа пәндік салалар үшін де қолданылуы мүмкін.

ӘДЕБИЕТ

- 1 How E-learning Works by Lee Ann Obringer. – Available at <http://communication.howstuffworks.com/elearning.htm>.
- 2 E-learning 2.0 by Stephen Downes, National Research Council of Canada October 17, 2005. – Available at <http://www.elearnmag.org/subpage.cfm?article=29-1§ion=articles>
- 3 Коротенко Л.М., Коротенко Г.М., Гужва М.И., //Агрегирование многоуровневых онтологий при формировании и проектировании дисциплинарного образовательного пространства вуза. //– Доступно на http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Geta/2009_82/17.pdf
- 4 Sampson, D. G., Lytras, M. D., Wagner, G., & Diaz, P. (2004).// Ontologies and the Semantic Web for E-learning. *Educational Technology & Society*, 7 (4), 26-28. – Available at <http://www.miltiadisytras.net/8.pdf>.
- 5 Ontologies: Structure E-Learning from Information-based to Knowledge-based. Conference Information. – Available at <http://www.editlib.org/p/15070>.
- 6 А.В. Палагин, С.Л. Крытый, Н.Г. Петренко, Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография // – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с.
- 7 Uschold M., M. Gruninger.,Ontologies: Principles, Methods and Applications., *Knowledge Engineering Review* 11(2), 1996. – PP. 93–136.
- 8 Мичкасская, Е. И., & Вознесенская, Н. В. (2018). Основы разработки эффективных онлайн-курсов. *Информатика в школе*, (9), 52-56.
- 9 Carrion, D. M., Gómez Rivas, J., Esperto, F., Patrino, G., & Vasquez, J. L. (2018). Current status of urological training in Europe. *Arch Esp Urol*, 71(1), 11-7.
- 10 Палагин А.В., К вопросу проектирования онтолого-управляемой ИС обработки ЕЯО / А.В. Палагин, Н.Г. Петренко // *International Book Series “INFORMATION SCIENCE & COMPUTING”*, Varna, Bulgaria. – 2008. – № 2 – PP. 160–164.
- 11 Палагин А.В., Крытый С.Л., Величко В.Ю., Петренко Н.Г., К анализу естественно-языковых объектов. – *International Book Series “INFORMATION SCIENCE & COMPUTING”*, BOOK Intelligent Processing, Varna, Bulgaria. – 2009. – № 9. – PP. 36–43.
- 12 Гамма Э., Хелм Р., Джонсон Р., Влиссирдес Дж. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования. – СПб., 2001. 344 с.
- 13 Грейди Буч. UML. Руководство пользователя. – Питер, 2004, 248 с.
- 14 Уэнди Боггс, Майкл Боггс. UML и Rational Rose. – М., 2000, 600 с.
- 15 Э. Йордан, К. Аргила. Структурные модели в объектно-ориентированном анализе и проектировании. – М., 1999, 268 с.
- 16 Tikhonov, U., Lakhno, V., Skliarenko, E., Stepanenko, O., Dvirnyi, K. Development of on Tological Approach in E-learning When Studying Information Technologies (2016) *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2), pp. 13-20.

REFERENCES

- 1 How E-learning Works by Lee Ann Obringer. – Available at <http://communication.howstuffworks.com/elearning.htm>.

2 E-learning 2.0 by Stephen Downes, National Research Council of Canada October 17, 2005. – Available at <http://www.elearnmag.org/subpage.cfm?article=29-1§ion=articles>

3 Korotenko L.M., Korotenko G.M., Guzhva M.I., //Agregirovanie mnogourovnevnyh ontologij pri formirovanii i proektirovanii disciplinarnogo obrazovatel'nogo prostranstva vuza. //– Dostupno na http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Geta/2009_82/17.pdf

4 Sampson, D. G., Lytras, M. D., Wagner, G., & Diaz, P. (2004). // Ontologies and the Semantic Web for E-learning. *Educational Technology & Society*, 7 (4), 26-28. – Available at <http://www.miltiadislytras.net/8.pdf>.

5 Ontologies: Structure E-Learning from Information-based to Knowledge-based. Conference Information. – Available at <http://www.editlib.org/p/15070>.

6 A.V. Palagin, S.L. Kryvyj, N.G. Petrenko, *Ontologicheskie metody i sredstva obrabotki predmetnyh znaniy: monografija* // . – Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dalja, 2012. – 324 s.

7 Uschold M., M. Gruninger., *Ontologies: Principles, Methods and Applications.*, *Knowledge Engineering Review* 11(2), 1996. – PP. 93–136.

8 Michkasskaja, E. I., & Voznesenskaja, N. V. (2018). *Osnovy razrabotki jeffektivnyh onlajn-kursov. Informatika v shkole*, (9), 52-56.

9 Carrion, D. M., Gómez Rivas, J., Esperto, F., Patruno, G., & Vasquez, J. L. (2018). Current status of urological training in Europe. *Arch Esp Urol*, 71(1), 11-7.

10 Palagin A.V., K voprosu proektirovanija ontologo-upravljaemoj IS obrabotki EJaO / A.V. Palagin, N.G. Petrenko // *International Book Series “INFORMATION SCIENCE & COMPUTING”*, Varna, Bulgaria. – 2008. – № 2 – RR. 160–164.

11 Palagin A.V., Kryvyj S.L., Velichko V.Ju., Petrenko N.G., K analizu estestvenno-jazykovyh ob#ektov. – *International Book Series “INFORMATION SCIENCE & COMPUTING”*, BOOK Intelligent Processing, Varna, Bulgaria. – 2009. – № 9. – RR. 36–43.

12 Gamma Je., Helm R., Dzhonson R., Vlissirdes Dzh. *Priemy ob#ektno-orientirovannogo proektirovanija. Patterny proektirovanija*. – SPb., 2001. 344 s.

13 Grejdi Buch. *UML. Rukovodstvo pol'zovatelja*. – Piter, 2004, 248 s.

14 Ujendi Boggs, Majkl Boggs. *UML i Rational Rose*. – M., 2000, 600 s.

15 Je. Jordan, K. Argila. *Strukturnye modeli v ob#ektno-orientirovannom analize i proektirovanii*. – M., 1999, 268 s.

16 Tikhonov, U., Lakhno, V., Skliarenko, E., Stepanenko, O., Dvirnyi, K. Development of on Tological Approach in E-learning When Studying Information Technologies (2016) *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (2), pp. 13-20

М. У. СУЛЕЙМЕНОВА*, М. Е. МАНСУРОВА

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: *madekin940@gmail.com*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ СТАРЕНИЯ

По мере старения населения планеты растет потребность в понимании сложных процессов, связанных со старением, и в выявлении надежных маркеров, которые могут помочь в ранней диагностике, вмешательстве и персонализированном медицинском обслуживании. В статье представлен всесторонний обзор применения искусственного интеллекта (ИИ) для выявления маркеров старения. Интеграция методов искусственного интеллекта, таких как машинное обучение и анализ данных значительно расширила наши возможности по анализу обширных и разнообразных наборов данных, связанных с геномикой, протеомикой, метаболомикой, визуализацией и клиническими записями. В обзоре обсуждается интеграция клинических данных, факторов образа жизни и информации об окружающей среде с использованием ИИ, обеспечивающая целостное понимание маркеров старения. В нем исследуется использование ИИ для прогнозирования индивидуального риска ускоренного старения с учетом различных факторов.

Интеграция ИИ в идентификацию маркеров старения представляет собой смену парадигмы в исследованиях старения. В этом обзоре подчеркивается потенциал ИИ в революционизировании нашего понимания старения и прокладывании пути для инновационных стратегий профилактики и лечения возрастных заболеваний.

Ключевые слова: *искусственный интеллект, маркеры старения, машинное обучение, глубокое обучение.*

М. У. СУЛЕЙМЕНОВА*, М. Е. МАНСУРОВА

*ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: *madekin940@gmail.com*

ҚАРТАЮ БЕЛГІЛЕРІН ЗЕРТТЕУ ҚҰРАЛЫ РЕТІНДЕГІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ

Бүкіл әлем халқы қартайған сайын қартаюмен байланысты күрделі процестерді түсіну және ерте диагностикаға, араласуға және жекелендірілген медициналық көмекке көмектесетін сенімді маркерлерді анықтау қажеттілігі артып келеді. Бұл мақалада қартаю белгілерін анықтау үшін жасанды интеллектті (АИ) қолдану туралы жан-жақты шолу берілген. Машиналық оқыту және деректерді талдау сияқты жасанды интеллект әдістерін біріктіру геномика, протеомика, метаболомика, бейнелеу және клиникалық жазбаларға қатысты кең және әртүрлі деректер жиынтығын талдау мүмкіндігін айтарлықтай кеңейтті. Шолу қартаю маркерлері туралы біртұтас түсінік беру үшін АИ көмегімен клиникалық деректерді, өмір салты факторларын және қоршаған орта туралы ақпаратты біріктіруді талқылайды. Ол әртүрлі факторларды ескере отырып, жедел қартаюдың жеке қаупін болжау үшін жасанды интеллектті қолдануды зерттейді.

Қартаю маркерлерін анықтауға ЖИ интеграциясы қартаю зерттеулеріндегі парадигманың өзгеруін білдіреді. Бұл шолу қартаю туралы түсінігімізді өзгертудегі және жасқа байланысты

аурулардың алдын алу мен емдеудің инновациялық стратегияларына жол ашудағы ЖИ әлеуетін көрсетеді.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, қартаюу маркерлері, машиналық оқыту, терең оқыту.

M. U. SULEIMENOVA*, M. E. MANSUROVA

al-Farabi Kazakh national university

*e-mail: *madekin940@gmail.com*

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS A TOOL FOR RESEARCHING PREMATURE AGING

As people age, there is a growing need to comprehend the intricate mechanisms that occur and identify trustworthy indicators for early diagnosis, intervention, and personalized medical care. Detailed analysis of Artificial Intelligence (AI) for the identification of aging markers is presented in this article. Our ability to analyze large datasets in genomics, proteomics, metabolomics, imaging, and clinical records has been greatly enhanced by the integration of AI techniques like machine learning and data analytics. A holistic view of aging markers is provided by the review through the use of AI that integrates clinical data, lifestyle factors, and environmental information. The examination focuses on the use of AI to estimate an individual's risk of premature aging by considering various factors.

The incorporation of AI into the study and identification of aging markers brings about a fundamental change in research on aging. Through this analysis, it is evident that AI has the potential to revolutionize our understanding of aging and aid in the prevention and management of age-related diseases.

Key words: *Artificial Intelligence, aging biomarkers, machine learning, deep learning.*

Введение. Исследование биомаркеров старения является актуальной и важной областью научных исследований в современном мире. В связи с увеличением ожидаемой продолжительности жизни и старением населения во всем мире понимание процессов старения и идентификация биомаркеров, связанных с этим процессом, становятся ключевыми аспектами для разработки стратегий здорового старения, профилактики возрастных заболеваний и улучшения качества жизни. Недавнее исследование Сары Грин [1] рассматривает актуальность профилактики возрастных расстройств в рамках политики здравоохранения с акцентом на раннее вмешательство в процессы деградации для содействия здоровой и долгой жизни. Автор обсуждает новые возможности замедления процесса старения, в частности в области персонализированного питания. Показано, что исследования, основанные на данных, потенциально могут повысить точность существующих факторов риска путем замены грубых маркеров, таких как уровень холестерина в крови, более подробными многомерными биомаркерами. Авторы представляют попытку разработать новый биомаркер старения, ориентированный на прогнозирование различных возрастных состояний, которые можно предотвратить с помощью персонализированного питания. Статья сочетает философский анализ и этнографические исследования для изучения возможностей и проблем управления старением с помощью физических признаков, которые напрямую не связаны с симптомами заболеваний. Авторы документируют, как усовершенствованные методы измерения создают новые концептуальные трудности при разграничении здоровых и нездоровых состояний. Кроме того, подчеркивается,

что переосмысление старения как риска имеет социальные и этические последствия, формируя нормативные представления о том, что считается успешным. Кроме того, в этой статье рассказывается о проекте COUNTERSTRIKE – совместной исследовательской инициативе Копенгагенского университета, Амстердамского университета и промышленных партнеров Agra Amba group, Bruker и Unilever. Его цель – создать биомаркеры для распределения липопротеидов с целью борьбы с саркопенией у пожилых людей. Проект включает в себя метаболомику, статистику здравоохранения, физиологию и медицину. Исследование сосредоточено на анализе липопротеидов в зависимости от рациона питания, физиологических параметров и микробиома. Используя 3000 биологических образцов, взятых у людей старше 65 лет, проект направлен на разработку метода определения липопротеидов в крови и увязку результатов с прогностическими показателями старения. COUNTER STRIKE является продолжением проекта CALM, использующего его образцы и добавляющего новых участников для формирования разнообразной когорты. Проект описывается как в высшей степени экспериментальный, с акцентом на экспериментальный подход к проблеме потери мышечной массы при старении [1]. В следующем обзоре биомаркеров, проведенном Александром Берклом [2] "Исследования старения", подчеркивается, что ни один из предложенных кандидатов не обеспечивает стабильного измерения биологического возраста в перекрестных исследованиях. Исследование MARK-AGE, поддержанное Европейской комиссией, было проведено с участием более 3200 испытуемых с целью выявления набора биомаркеров старения. Основная идея состояла в том, чтобы создать комбинацию параметров с весами, которые более точно измеряли бы биологический возраст, чем отдельные маркеры. В работе подчеркивается многопричинная и мультисистемная природа процесса старения и перспективность комплексного подхода к измерению биологического возраста. Биомаркеры старения человека крайне необходимы для выявления высокого риска возрастных заболеваний. Они позволяют проводить целенаправленные обследования, вносить профилактические изменения и начинать лечение на ранней стадии. Учитывая увеличение продолжительности жизни, необходимы эффективные стратегии профилактики возрастных заболеваний. Биомаркеры могут быть "нейтральными" маркерами возраста, не связанными напрямую с риском заболевания, и маркерами общего риска возрастных заболеваний. Оба типа могут предоставить важную информацию о состоянии здоровья и риске возрастных изменений. [2]. Например, недавние исследования [3] предлагают использовать методы машинного обучения. Исследование проводилось с целью поиска клинических и биомаркеров, наиболее ассоциированных с саркопенией в пожилом возрасте, с использованием методов машинного обучения. Были проанализированы данные двух популяций с севера (Павия) и юга (Апулия) Италии, включая клинические записи и биологические маркеры. Примененный метод машинного обучения random forest (RF) выявил наиболее прогностические параметры саркопении. Определяются общие переменные, такие как индекс мышечной массы, сила рук, свободный вес ног и предплечий, а также пол. Биомаркеры, такие как альбумин, С-реактивный белок (СРБ), фолиевая кислота и возраст, также считаются важными. Результаты подчеркивают важность этих биомаркеров при скрининге саркопении у стареющего населения и необходимость улучшения медицинской профилактики для смягчения воздействия

саркопении на общее состояние здоровья, качество жизни и оказание медицинской помощи стареющему населению. В статье подчеркивается важность включения альбумина, С-реактивного белка (СРБ), витамина D и сывороточной фолиевой кислоты в процесс скрининга саркопении, особенно среди мужского населения пожилого возраста. Улучшение здоровья и качества жизни стареющего населения является неотложной задачей. Авторы предлагают использовать многомерную методологию для моделирования путей управления рисками, которая может помочь стратифицировать риск саркопении в профилактических медицинских учреждениях и облегчить выявление ухудшающихся состояний здоровья у пожилых людей. [Roberta Zupo, 2023]. Более конкретные исследовательские вопросы будут представлены и исследованы в работе Алекса Жаворонкова [4], где освещаются перспективы использования современных алгоритмов искусственного интеллекта в исследованиях старения. Методы глубокого обучения позволяют создавать предикторы возраста, открывая новые возможности для анализа динамических и статических данных. Биомаркеры старения на основе искусственного интеллекта обеспечивают целостный взгляд на биологические процессы и позволяют создавать новые методы построения причинно-следственных моделей. Развитие генеративных конфронтаций и обучения с подкреплением позволяет генерировать разнообразные синтетические данные, выявлять новые биологические мишени и создавать новые молекулярные соединения и геропротекторы. Эти методы могут быть объединены в единый конвейер разработки биомаркеров, идентификации мишеней, поиска лекарств и анализа реальных данных, что помогает ускорить и улучшить фармацевтические исследования и разработки. Предполагается, что современный искусственный интеллект будет способствовать авторитету и важности биотехнологии долголетия в здравоохранении и фармацевтической промышленности, а также сближению многих областей исследований.

ИИ находит широкое применение в адаптации лечения, служит диагностическим инструментом для минимизации ошибок и позволяет стратифицировать пациентов на основе их уникальных состояний здоровья. Интегрируя точную диагностику и улучшенное понимание пациента, платформы ИИ могут быть использованы для разработки более эффективных подходов к лечению. Способность технологий искусственного интеллекта анализировать огромные объемы данных позволяет выявлять закономерности для прогнозирования прогноза пациента и консультировать врачей по вопросам персонализированной медицины и экспериментальных методов лечения, включая участие в клинических испытаниях. Например, сверточные нейронные сети (CNN) [5] были обучены классифицировать онкологических больных на основе иммуногистохимии опухолевой ткани [Vandenbergh et al., 2017]. Кроме того, классификаторы опухолей на основе машинного обучения [6], например, разработанные для классификации и прогнозирования моделей рака молочной железы, еще раз демонстрируют потенциал ИИ в здравоохранении [Capper et al., 2020]. Кроме того, в своем исследовании автор рассказал о революции в глубоком обучении и его применении в исследованиях старения. Глубокие нейронные сети и методы машинного обучения были успешно использованы для разработки биомаркеров старения, таких как "часы старения", которые оценивают возраст на основе различных данных. Применение искусственного интеллекта в области старения и долголетия дает многообещающие

результаты, и ожидается, что комбинированные подходы с использованием современных методов искусственного интеллекта приведут к новым применениям в медицине. Регулирующие органы начинают разрабатывать рамки для использования технологий искусственного интеллекта в здравоохранении, но важно соблюдать баланс между защитой данных и поддержкой технологического развития. Международное сотрудничество и обмен данными становятся ключевыми для дальнейших исследований и применения биомаркеров старения. [4]. По словам другого автора [7], клиника Кивач разработала специальную медицинскую программу в санатории для профилактики старения при метаболических, сердечно-сосудистых и неврологических заболеваниях. Они исследовали влияние этой программы на биомаркеры биологического возраста пациентов во время их пребывания в санатории, чтобы объективизировать потенциал санаторного лечения для влияния на риск развития возрастных событий. С помощью искусственного глубокого обучения модель Aging.ai 3.0 была основана на показателях крови. Тест доступен по ссылке <https://www.unhooked.co.uk/diversity-ai/aging/aging-v1/index.html>.

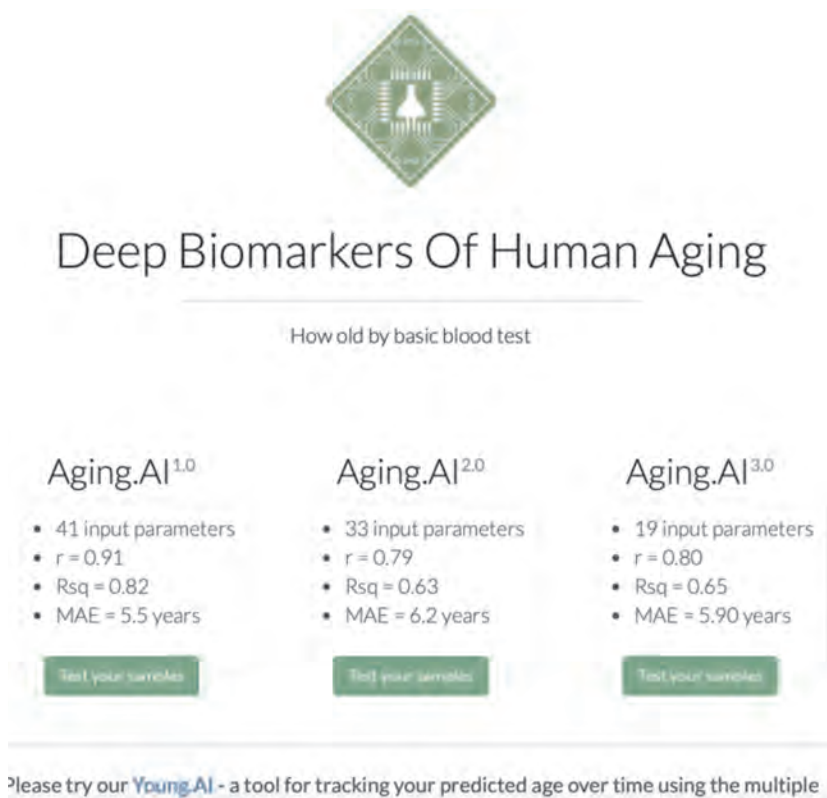


Рисунок 1 – Версии Aging AI.

В рис.2 иллюстрирует дизайн веб-сайта. На рис.3 показаны маркеры, которые необходимо заполнить пациенту, чтобы узнать о старении.

| Blood Marker* | Your Value | Units and Sample Metric*** |
|---------------------------------|----------------------|----------------------------|
| Albumin** | <input type="text"/> | 35 - 52 g/l |
| Glucose** | <input type="text"/> | 3.9 - 5.8 mmole/l |
| Urea**(BUN) | <input type="text"/> | 2.5 - 6.4 mmole/l |
| Cholesterol** | <input type="text"/> | 3.37 - 5.96 mmole/l |
| Protein total** | <input type="text"/> | 64 - 83 g/l |
| Sodium** | <input type="text"/> | 136 - 146 mmole/l |
| Creatinine** | <input type="text"/> | 53 - 97 mmole/l |
| Hemoglobin** | <input type="text"/> | 11.7 - 15.5 g/dl |
| Bilirubin total | <input type="text"/> | 1.7 - 21 mc mole/l |
| Triglycerides | <input type="text"/> | 0.68 - 6 mmole/l |
| HDL Cholesterol | <input type="text"/> | < 3.3 mmole/l |
| LDL cholesterol (by Friedewald) | <input type="text"/> | 1.81 - 4.04 mmole/l |
| Calcium | <input type="text"/> | 2.15 - 2.65 mmole/l |
| Potassium | <input type="text"/> | 3.4 - 5.1 mmole/l |

Рисунок 3 – Маркеры старения.

Основная часть исследования подтверждает, что двухнедельные комплексные медицинские программы в санатории, включающие диету с ограничением калорийности, лечебный курорт (физиотерапия для очищения желчного пузыря и энтеросорбции, стимуляция выделительных органов), фитотерапию, гидротерапию и тепловые процедуры, способны уменьшить биологический возраст человека (Aging.AI 3.0). Медицинские спа-программы демонстрируют потенциал для улучшения качества старения. Более полное описание можно найти в исследовании Евгения Путина [8]. Исследование направлено на решение важной проблемы в изучении старения человека - отсутствие полного набора действенных биомаркеров для оценки эффективности терапевтических вмешательств. В исследовании представлен модульный ансамбль из 21 глубокой нейронной сети, разработанной с различной глубиной, структурой и оптимизацией, для предсказания хронологического возраста человека на основе стандартного анализа крови. Обученная на наборе данных из более чем 60 000 образцов, полученных при обычном медицинском обследовании, модель, показавшая наилучшие результаты, продемонстрировала точность 83,5 %, определив альбумин, глюкозу,

щелочную фосфатазу, мочевины и эритроциты как наиболее важные маркеры. Для общего пользования была разработана система онлайн-тестирования (<http://www.aging.ai>), которая может предложить экономически эффективный и минимально инвазивный подход к мониторингу биомаркеров старения у людей. Кроме того, ансамблевый подход может помочь в межвидовом анализе важности признаков [8]. Однако в настоящее время ссылка не работает. В широкой литературе существует большое количество исследований, посвященных машинному обучению.

Цель этого обзора – предоставить технический обзор достижений и возможностей, предлагаемых искусственным интеллектом для определения биомаркеров старения. С появлением искусственного интеллекта (ИИ) открываются новые перспективы для идентификации и анализа маркеров старения, что может привести к появлению более точных методов определения биологического возраста человека. В этой статье рассматриваются современные стратегии в исследованиях старения с целью выявления биологически более значимых особенностей и упрощения интерпретации моделей, основанных на искусственном интеллекте. Наиболее значимыми и популярными достижениями в области искусственного интеллекта являются:

- Машинное обучение

Машинное обучение (ML) [9] предполагает использование алгоритмов, способных извлекать уроки из данных и делать прогнозы путем построения модели на основе выборочных входных данных. ML часто используется в вычислительных задачах, где создание эффективных алгоритмов с помощью явного программирования является сложной задачей или непрактичным. В настоящее время распространенные традиционные методы ML охватывают k -ближайших соседей (kNN). [Kramer, 2013]

- Глубокое обучение

Глубокое структурированное обучение, также известное как deep learning (DL) или иерархическое обучение, относится к категории методов машинного обучения, которые используют несколько уровней нелинейных вычислительных единиц для улавливания сложных взаимосвязей внутри данных [4]. Эти структуры, состоящие из множества слоев, обычно называют глубокими нейронными сетями (DNNS) или многослойными нейронными сетями. Ключевое различие между исходными искусственными нейронными сетями с одним скрытым слоем (ANNS) и DNNS заключается в их глубине, указывающей на количество слоев, через которые данные подвергаются обработке. Как правило, наличие более трех уровней (включая ввод и вывод) квалифицирует систему как "глубокое" обучение. Таким образом, "глубокое" служит техническим термином, обозначающим наличие более одного скрытого уровня. Подобно другим стандартным архитектурам нейронных сетей, DNNS функционируют как эффективные универсальные аппроксиматоры [Alex Zhavoronkov, 2019].

Как уже было написано выше, на сегодняшний день существует всего несколько приложений, которые определяют старение человека: Стареющие часы, Стареющий ИИ и т.д. Примерами таких часов старения являются часы Хорвата и часы Ханнума, которые основаны на анализе метилирования ДНК. Эти часы старения, хотя и дают интересные результаты исследований, все еще находятся в стадии разработки, и их широкое использование в клинической практике требует дополнительных исследова-

ний и валидации. Второе - для определения старения необходимо множество ваших биомаркеров.

Исходя из вышеперечисленных подходов, для первого необходима ДНК, что занимает много времени, а для второго требуется слишком много анализов, поэтому предлагается экспериментальное исследование с несколькими биомаркерами, охватывающее 800 пациентов, разделенных на возрастные группы: 65-75, 75-90, 90 и старше. В таблице 1 представлены основные показатели, которые были выбраны для анализа преждевременного старения и расчета корреляции. Этим пациентам необходимо сдать анализы крови, результаты будут обработаны в базе данных и создано программное обеспечение на основе языка python.

Таблица 1 – Важные биомаркеры.

| | АД (систолическое) | Верхний | Нижний | Пульс | Гемоглобин | лейкоциты | тромбоциты | эритроциты | гематокрит | лимфоциты | лимфоциты без % | СОЭ (мм/час) | Гликолиз (ммоль/л) | Вес (кг) | Курение |
|----|--------------------|---------|--------|-------|------------|-----------|------------|------------|------------|-----------|-----------------|--------------|--------------------|----------|---------|
| 1 | 120/80 | 120 | 80 | 74 | 122 | 5.6 | 279 | 4.1 | 0.125 | 12.5 | 20 | 5.94 | 70 | 0 | |
| 2 | 120/80 | 120 | 80 | 75 | 141 | 5.6 | 324 | 4.99 | 0.424 | 42.4 | 22 | 13.81 | 90 | 0 | |
| 3 | 120/80 | 120 | 80 | 76 | 125 | 6.5 | 304 | 3.4 | 0.23 | 23 | 12 | 4.23 | 65 | 0 | |
| 4 | 170/100 | 170 | 100 | 78 | 133 | 7.8 | 240 | 4.63 | 0.268 | 26.8 | 43 | 4.81 | 60 | 0 | |
| 5 | 170/80 | 170 | 80 | 70 | 89 | 3.7 | 365 | 3.5 | 0.321 | 32.1 | 43 | 3.78 | 53 | 0 | |
| 6 | 135/90 | 135 | 90 | 72 | 161 | 8.6 | 167 | 4.7 | 0.35 | 35 | 13 | 5.23 | 72 | 0 | |
| 7 | 160/90 | 160 | 90 | 73 | 152 | 6.5 | 348 | 4.1 | 0.252 | 25.2 | 26 | 5.25 | 75 | 0 | |
| 8 | 150/90 | 150 | 90 | 85 | 134 | 8.7 | 156 | 4.5 | 0.473 | 47.3 | 22 | 5.16 | 75 | 0 | |
| 9 | 125/75 | 125 | 75 | 95 | 151 | 8.7 | 209 | 5.83 | 0.116 | 11.6 | 10 | 6.15 | 90 | 0 | |
| 10 | 120/80 | 120 | 80 | 65 | 160 | 9.2 | 226 | 3.3 | 0.303 | 30.3 | 1 | 5.31 | 85 | 0 | |
| 11 | 120/80 | 120 | 80 | 84 | 180 | 3.7 | 217 | 4.6 | 46.8 | 46.8 | 12 | 3.7 | 53 | 0 | |
| 12 | 155/90 | 155 | 90 | 75 | 125 | 5.8 | 397 | 4.1 | 0.336 | 33.6 | 6 | 4.97 | 74 | 0 | |
| 13 | 145/80 | 145 | 80 | 68 | 132 | 5.3 | 244 | 4.6 | 0.512 | 51.2 | 26 | 4.95 | 68 | 0 | |
| 14 | 165/80 | 165 | 80 | 72 | 133 | 6 | 192 | 4.76 | 0.301 | 30.1 | 23 | 8.6 | 87 | 0 | |
| 15 | 140/80 | 140 | 80 | 64 | 128 | 7.1 | 261 | 4.2 | 0.434 | 43.4 | 6 | 6.22 | 74 | 0 | |
| 16 | 175/90 | 175 | 90 | 78 | 115 | 7.5 | 234 | 3.9 | 0.223 | 22.3 | 30 | 4.96 | 69 | 0 | |
| 17 | 150/80 | 150 | 80 | 70 | 122 | 3.7 | 217 | 4.8 | 46.8 | 46.8 | 12 | 3.7 | 62 | 0 | |
| 18 | 180/90 | 180 | 90 | 88 | 132 | 5.7 | 215 | 4.84 | 0.348 | 34.8 | 22 | 10.1 | 60 | 0 | |
| 19 | 175/90 | 175 | 90 | 90 | 98 | 8.7 | 252 | 4.2 | 0.201 | 20.1 | 10 | 4.45 | 60 | 1 | |
| 20 | 120/80 | 120 | 80 | 93 | 133 | 10.3 | 347 | 4.73 | 0.364 | 36.4 | 26 | 7.89 | 96 | 0 | |
| 21 | 180/90 | 180 | 90 | 85 | 111 | 5.7 | 217 | 3.81 | 0.417 | 41.7 | 14 | 4.51 | 67 | 0 | |
| 22 | 130/80 | 130 | 80 | 76 | 130 | 7.5 | 229 | 4.35 | 0.478 | 47.8 | 25 | 6.33 | 70 | 0 | |
| 23 | 140/90 | 140 | 90 | 60 | 112 | 8.1 | 162 | 4.02 | 0.271 | 27.1 | 34 | 4.94 | 51 | 0 | |
| 24 | 120/80 | 120 | 80 | 97 | 99 | 10.7 | 235 | 3.56 | 0.225 | 22.5 | 32 | 9.88 | 75 | 0 | |
| 25 | 130/90 | 130 | 90 | 98 | 158 | 8 | 175 | 5.4 | 0.324 | 32.4 | 20 | 5.18 | 90 | 0 | |
| 26 | 155/100 | 155 | 100 | 72 | 152 | 6.8 | 279 | 4.58 | 0.294 | 29.4 | 54 | 22.27 | 60 | 0 | |
| 27 | 150/90 | 150 | 90 | 75 | 135 | 8.2 | 221 | 5.1 | 14.6 | 14.6 | 10 | 6.67 | 91 | 0 | |
| 28 | 140/80 | 140 | 80 | 94 | 82 | 5.4 | 226 | 4.3 | 0.321 | 32.1 | 30 | 4.87 | 91 | 0 | |
| 29 | 130/90 | 130 | 90 | 64 | 165 | 6.5 | 177 | 5.47 | 0.341 | 34.1 | 14 | 4.75 | 63 | 0 | |
| 30 | 150/80 | 150 | 80 | 76 | 135 | 10.3 | 143 | 3.9 | 0.142 | 14.2 | 54 | 5.98 | 60 | 0 | |
| 31 | 150/80 | 150 | 80 | 80 | 159 | 9 | 219 | 5 | 0.23 | 23 | 11 | 5.86 | 77 | 0 | |
| 32 | 140/80 | 140 | 80 | 100 | 129 | 5.7 | 212 | 4.48 | 42.7 | 42.7 | 11 | 7.62 | 80 | 0 | |
| 33 | 120/80 | 120 | 80 | 106 | 95 | 7.3 | 185 | 4.17 | 0.237 | 23.7 | 25 | 6.48 | 60 | 1 | |
| 34 | 160/90 | 160 | 90 | 76 | 105 | 4.8 | 202 | 3.8 | 0.477 | 47.7 | 12 | 4.96 | 59 | 0 | |
| 35 | 165/90 | 165 | 90 | 84 | 137 | 7 | 244 | 4.67 | 0.279 | 27.9 | 10 | 8.96 | 78 | 0 | |
| 36 | 155/80 | 155 | 80 | 82 | 164 | 8 | 287 | 7.05 | 0.302 | 30.2 | 13 | 6.27 | 84 | 0 | |

Подводя итог, можно сказать, что в данном обзоре рассмотрены различные подходы к определению биомаркеров старения и существующие приложения, определяющие преждевременное старение. О системе Aging.Ai написано большое количество существующих исследований в широкой литературе. Поэтому необходим новый подход к исследованию преждевременного старения с помощью искусственного интеллекта. Увеличение продолжительности жизни не означает увеличение продолжительности активного долголетия. Одной из главных проблем современного мира, помимо старения населения, можно считать увеличение возраст-ассоциированных заболеваний и прежде всего сердечно-сосудистых заболеваний (ССЗ). Сердечно-сосудистые заболевания – основная причина смертности и бремени инвалидизации как во всем мире, так и в Казахстане. Согласно данным ВОЗ, Казахстан относится к регионам с высоким риском развития ССЗ [10]. При этом показатели смертности в Казахстане являются одними из самых высоких в Центральной Азии. В связи с этим основной современной задачей кардиологов является снижение сердечно-сосудистой смертности от данных заболеваний. Задачей ИИ является своевременное выявление

и профилактики ССЗ, и на основе иммунологических биохимических маркеров дать прогноз, риски и возможные причины снижения продолжительности жизни населения. При этом являясь заболеваниями, ассоциированными с возрастом, ССЗ рассматриваются как одно из явных проявлений патологического старения организма, а состояние сердечно-сосудистой системы отражает так называемый «биологический» возраст человека. Для ИИ актуальным является также поиск маркеров старения, определение роли эндокринных, метаболических, иммунологических, структурно-функциональных нарушений в развитии сосудистого старения в их взаимосвязи.

Таким образом, возраст-ассоциированные маркеры представляют собой общий качественный и количественный индикатор функционального состояния человека. Один показатель не может отражать картину состояния организма, его возраста, а оценка скорости старения должна быть комплексной, меняться с возрастом, позволять предвидеть ранние стадии возраст-зависимых заболеваний, быть доступными и минимально инвазивными. В связи с этим эффективная ранняя профилактика подразумевает определение мишеней для воздействия на маркеры, которые будут отражать скорость старения сердечно-сосудистой системы и соответственно помогут оценивать эффективность проводимых мероприятий. Для решения проблемы профилактики раннего сердечно-сосудистого старения планируется провести комплексное изучение ряда клинических, биохимических, иммунологических, инструментальных исследований. На основе новых данных при помощи ИИ возможно создание наиболее эффективных программ первичной и вторичной профилактики основных гериатрических синдромов. Результатом исследования станет разработка методических рекомендаций и соответствующих нормативных документов по гериатрии.

Таким образом, искусственный интеллект играет ключевую роль в современных исследованиях, направленных на выявление и понимание маркеров старения. Это открывает новые перспективы для профилактики возрастных заболеваний и улучшения качества общественного здоровья. Однако для получения максимальной пользы и минимизации рисков необходима тщательная обработка данных и учет этических аспектов.

ЛИТЕРАТУРА

1 Green, Sara, and Line Hillersdal. "Aging Biomarkers and the Measurement of Health and Risk." *History and Philosophy of the Life Sciences*, vol. 43, no. 1, 23 Feb. 2021, <https://doi.org/10.1007/s40656-021-00367-w>.

2 Alexander Bürkle, and Moreno-Villanueva, Maria. "MARK-AGE: European Study to Establish Biomarkers of Human Ageing." *Experimental Gerontology*, vol. 46, no. 2-3, Feb. 2015, p. 212, <https://doi.org/10.1016/j.exger.2010.11.025>.

3 Zupo, Roberta, et al. "A Machine-Learning Approach to Target Clinical and Biological Features Associated with Sarcopenia: Findings from Northern and Southern Italian Aging Populations." *Metabolites*, vol. 13, no. 4, 17 Apr. 2023, pp. 565–565, <https://doi.org/10.3390/metabo13040565>. Accessed 15 Jan. 2024.

4 Zhavoronkov, Alex, et al. "Artificial Intelligence for Aging and Longevity Research: Recent Advances and Perspectives." *Ageing Research Reviews*, vol. 49, 2019, pp. 49–66, www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30472217, <https://doi.org/10.1016/j.arr.2018.11.003>. Accessed 8 July 2019.

5 Vandenberghe, Michel E., et al. "Relevance of Deep Learning to Facilitate the Diagnosis of HER2 Status in Breast Cancer." *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, 5 Apr. 2017, <https://doi.org/10.1038/srep45938>.

6 Perez, E., and D. Capper. "Invited Review: DNA Methylation-Based Classification of Paediatric Brain Tumours." *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 19 Feb. 2020, <https://doi.org/10.1111/nan.12598>.

7 Isaev, Fedor I., et al. "Blood Markers of Biological Age Evaluates Clinic Complex Medical Spa Programs." *Biomedicines*, vol. 11, no. 2, 19 Feb. 2023, p. 625, <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020625>. Accessed 6 May 2023.

8 Putin, Evgeny, et al. "Deep Biomarkers of Human Aging: Application of Deep Neural Networks to Biomarker Development." *Aging*, vol. 8, no. 5, 21 Feb. 2017, pp. 1021–1033, <https://doi.org/10.18632/aging.100968>.

9 Kramer, O., 2013. K-nearest neighbors. *Intelligent Systems Reference Library*. pp. 13–23.
Kulkarni, P., 2017. reinforcement and deep reinforcement machine learning. *Intelligent Systems Reference Library*. pp. 59–83.

10 Демографический ежегодник Казахстана. А: Агенство Республики Казахстан по статистике, 2018; 840с

11 Bernard, David, et al. "Explainable Machine Learning Framework to Predict Personalized Physiological Aging." *Aging Cell*, vol. 22, no. 8, 10 June 2023, <https://doi.org/10.1111/acer.13872>. Accessed 5 Feb. 2024.

12 Mamoshina, Polina, et al. "Population Specific Biomarkers of Human Aging: A Big Data Study Using South Korean, Canadian, and Eastern European Patient Populations." *The Journals of Gerontology: Series A*, vol. 73, no. 11, 11 Jan. 2018, pp. 1482–1490, <https://doi.org/10.1093/geronagly005>. Accessed 24 May 2021.

13 Minh Thanh Chung, et al. "Use of Artificial Intelligence in Skin Aging." *OBM Geriatrics*, vol. 07, no. 02, 17 Apr. 2023, pp. 1–8, <https://doi.org/10.21926/obm.geriatri.2302233>. Accessed 21 Jan. 2024.

REFERENCES

1 Green, Sara, and Line Hillersdal. "Aging Biomarkers and the Measurement of Health and Risk." *History and Philosophy of the Life Sciences*, vol. 43, no. 1, 23 Feb. 2021, <https://doi.org/10.1007/s40656-021-00367-w>.

2 Alexander Bürkle, and Moreno-Villanueva, Maria. "MARK-AGE: European Study to Establish Biomarkers of Human Ageing." *Experimental Gerontology*, vol. 46, no. 2-3, Feb. 2015, p. 212, <https://doi.org/10.1016/j.exger.2010.11.025>.

3 Zupo, Roberta, et al. "A Machine-Learning Approach to Target Clinical and Biological Features Associated with Sarcopenia: Findings from Northern and Southern Italian Aging Populations." *Metabolites*, vol. 13, no. 4, 17 Apr. 2023, pp. 565–565, <https://doi.org/10.3390/metabo13040565>. Accessed 15 Jan. 2024.

4 Zavoronkov, Alex, et al. "Artificial Intelligence for Aging and Longevity Research: Recent Advances and Perspectives." *Ageing Research Reviews*, vol. 49, 2019, pp. 49–66, www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30472217, <https://doi.org/10.1016/j.arr.2018.11.003>. Accessed 8 July 2019.

5 Vandenberghe, Michel E., et al. "Relevance of Deep Learning to Facilitate the Diagnosis of HER2 Status in Breast Cancer." *Scientific Reports*, vol. 7, no. 1, 5 Apr. 2017, <https://doi.org/10.1038/srep45938>.

6 Perez, E., and D. Capper. "Invited Review: DNA Methylation-Based Classification of Paediatric Brain Tumours." *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 19 Feb. 2020, <https://doi.org/10.1111/nan.12598>.

7 Isaev, Fedor I., et al. “Blood Markers of Biological Age Evaluates Clinic Complex Medical Spa Programs.” *Biomedicines*, vol. 11, no. 2, 19 Feb. 2023, p. 625, <https://doi.org/10.3390/biomedicines11020625>. Accessed 6 May 2023.

8 Putin, Evgeny, et al. “Deep Biomarkers of Human Aging: Application of Deep Neural Networks to Biomarker Development.” *Aging*, vol. 8, no. 5, 21 Feb. 2017, pp. 1021–1033, <https://doi.org/10.18632/aging.100968>.

9 Kramer, O., 2013. K-nearest neighbors. *Intelligent Systems Reference Library*. pp. 13–23. Kulkarni, P., 2017. reinforcement and deep reinforcement machine learning. *Intelligent Systems Reference Library*. pp. 59–83.

10 Демографический ежегодник Казахстана. А: Агентство Республики Казахстан по статистике, 2018; 840с

11 Bernard, David, et al. “Explainable Machine Learning Framework to Predict Personalized Physiological Aging.” *Aging Cell*, vol. 22, no. 8, 10 June 2023, <https://doi.org/10.1111/acel.13872>. Accessed 5 Feb. 2024.

12 Mamoshina, Polina, et al. “Population Specific Biomarkers of Human Aging: A Big Data Study Using South Korean, Canadian, and Eastern European Patient Populations.” *The Journals of Gerontology: Series A*, vol. 73, no. 11, 11 Jan. 2018, pp. 1482–1490, <https://doi.org/10.1093/geronology005>. Accessed 24 May 2021.

13 Minh Thanh Chung, et al. “Use of Artificial Intelligence in Skin Aging.” *OBM Geriatrics*, vol. 07, no. 02, 17 Apr. 2023, pp. 1–8, <https://doi.org/10.21926/obm.geriater.2302233>. Accessed 21 Jan. 2024.

Б. ШЫРЫН¹*, А. ЖУМАДИЛЛАЕВА², М. ОТНМАН³

^{1,2}Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева,
Астана, Казахстан;

³Университет Путра Малайзия, Куала-Лумпур, Малайзия.

e-mail: *bexultan.shyryn@gmail.com; ay8222@mail.ru; mothmanupm@gmail.com

СРАВНЕНИЕ КОНТРОЛЛЕРОВ SDN: ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

Программно-определяемые сети (SDN) становятся все более популярными в последние годы благодаря своей способности централизовать управление сетью и обеспечить большую гибкость и маневренность. Контроллеры SDN являются ключевым компонентом архитектуры SDN и отвечают за контроль и управление сетью. Однако при широком разнообразии контроллеров SDN, доступных на рынке, выбор подходящего контроллера может оказаться непростой задачей. В этой статье представлен сравнительный анализ нескольких популярных SDN-контроллеров, включая OpenDaylight, Floodlight, Ryu и ONOS. Сравнение основано на двух основных критериях: производительность и функциональность. Показатели производительности включают скорость пересылки пакетов, задержку в плоскости управления и использование памяти, а показатели функциональности – поддержку виртуализации сети, безопасность и масштабируемость. Наша оценка показала, что производительность и функциональность контроллеров значительно различаются, причем некоторые контроллеры в определенных областях работают лучше, чем другие. Например, у OpenDaylight была самая высокая скорость пересылки пакетов, а у Ryu – самая низкая задержка плоскости управления. С точки зрения функциональности, Floodlight обеспечивал наиболее широкие возможности безопасности, а ONOS обладал лучшей масштабируемостью. В целом, в этой статье дана комплексная оценка производительности и функциональности контроллеров SDN, что может помочь сетевым администраторам выбрать подходящий контроллер для своих конкретных нужд.

Ключевые слова: программно-определяемые сети, SDN контроллер, инженерия трафика, OpenFlow, Mininet

Б. А. ШЫРЫН¹*, А. К. ЖУМАДИЛЛАЕВА², М. ОТНМАН³

^{1,2}Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

³Путра Малайзия университеті, Куала-Лумпур, Малайзия.

e-mail: *bexultan.shyryn@gmail.com; ay8222@mail.ru; mothmanupm@gmail.com

SDN КОНТРОЛЛЕРІН САЛЫСТЫРУ: ӨНІМДІЛІКТІ ЖӘНЕ ФУНКЦИОНАЛДЫЛЫҚТЫ БАҒАЛАУ

Бағдарламалық қамтамасыз етумен анықталған желі (SDN) соңғы жылдары желіні басқаруды орталықтандыру және үлкен икемділік пен ептілікті қамтамасыз ету қабілетіне байланысты барған сайын танымал бола бастады. SDN контроллері SDN архитектурасының негізгі құрамдас бөлігі болып табылады және желіні басқаруға және басқаруға жауапты. Дегенмен, нарықта қол жетімді SDN контроллерінің алуан түрлілігімен дұрыс контроллерді таңдау өте қиын міндет болуы мүмкін. Бұл мақалада OpenDaylight, Floodlight, Ryu және ONOS сияқты бірнеше танымал SDN контроллерінің салыстырмалы талдауы берілген. Салыстыру екі негізгі критерийге негізделген: өнімділік және функционалдылық. Өнімділік көрсеткіштері пакеттерді

қайта жіберу жылдамдығын, басқару жазықтығының кідірісін және жадты пайдалануды қамтиды, ал функционалдық көрсеткіштерге желіні виртуалдандыруды қолдау, қауіпсіздік және масштабтау кіреді. Біздің бағалауымыз контроллерлердің өнімділігі мен функционалдығы айтарлықтай өзгеретінін көрсетті, кейбір контроллерлер белгілі бір аймақтарда басқаларына қарағанда жақсырақ жұмыс істейді. Мысалы, OpenDaylight ең жоғары пакетті қайта жіберу жылдамдығына ие болды, ал Ryu басқару ұшақтарының ең аз кідірісіне ие болды. Функционалдылық тұрғысынан Floodlight ең кең қауіпсіздік мүмкіндіктерін қамтамасыз етті, ал ONOS ең жақсы масштабтауға ие болды. Тұтастай алғанда, бұл мақала SDN контроллерлерінің өнімділігі мен функционалдығын жан-жақты бағалауды қамтамасыз етеді, бұл желі әкімшілеріне олардың нақты қажеттіліктері үшін дұрыс контроллерді таңдауға көмектесе алады.

Түйін сөздер: Программалы-анықталған желілер, SDN контроллер, трафик инженериясы, OpenFlow, Mininet.

B. SHYRYN¹*, A. ZHUMADILLAYEVA², M. OTHMAN³

^{1,2}L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

³Universiti Putra Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia.

e-mail: *bexultan.shyryn@gmail.com; ay8222@mail.ru; mothmanupm@gmail.com

COMPARISON OF SDN CONTROLLERS: PERFORMANCE AND FUNCTIONALITY EVALUATION

In recent times, there has been a surge in popularity for Software-defined networking (SDN) due to its ability to centralize network management, resulting in greater flexibility and agility. SDN architecture relies heavily on SDN controllers, which play a significant role in controlling and managing the network. However, with a wide range of SDN controllers available on the market, selecting the ideal one can be a daunting task. To assist with this challenge, this article conducts a comparative analysis of several renowned SDN controllers, such as OpenDaylight, Floodlight, Ryu, and ONOS. The assessment is based on two key criteria: performance and functionality. Performance metrics include packet forwarding speed, control plane latency, and memory usage. In contrast, functionality metrics include network virtualization support, security, and scalability. Our evaluation indicates that there is a significant variation in the performance and functionality of the controllers, with some controllers excelling in specific areas compared to others. For example, OpenDaylight had the highest packet forwarding speed, while Ryu exhibited the lowest control plane latency. Concerning functionality, Floodlight presented the most comprehensive security features, whereas ONOS demonstrated the best scalability. Overall, this article presents a thorough evaluation of SDN controllers' performance and functionality, which can guide network administrators in choosing the most appropriate controller to suit their specific requirements.

Key words: Software-defined networks, SDN controller, traffic engineering, OpenFlow, Mininet.

Введение. Программно-определяемые сети (SDN) произвели революцию в управлении и эксплуатации сетей. В отличие от традиционных сетей, где сетевые устройства самостоятельно принимают решения на основе протоколов маршрутизации, SDN обеспечивает централизованный подход к управлению сетью, отделяя плоскость управления от плоскости данных. Контроллеры SDN являются ключевым компонентом архитектуры SDN и отвечают за управление сетью, контролируя поток трафика и конфигурируя сетевые устройства.

С ростом популярности концепции SDN на рынке появилось большое количество контроллеров SDN с разнообразным набором функций и возможностей. Однако вы-

бор наиболее подходящего SDN-контроллера представляет собой сложную задачу, которая требует учета множества факторов, включая производительность, функциональность, масштабируемость и безопасность.

В этой статье мы представляем сравнительный анализ нескольких популярных SDN-контроллеров, включая OpenDaylight [23], Floodlight [25], Ryu [26] и ONOS [24]. Сравнение основано на двух основных критериях: производительность и функциональность. Показатели производительности включают скорость пересылки пакетов, задержки в плоскости управления и использование памяти, а показатели функциональности – поддержку виртуализации сети, безопасность и масштабируемость.

Научная новизна работы предопределяется тем, что были даны всесторонние оценки производительности и функциональности контроллеров SDN, что может помочь сетевым администраторам выбрать подходящий контроллер для своих конкретных нужд. Мы считаем, что этот сравнительный анализ станет ценным ресурсом для всех, кто заинтересован в развертывании сети на базе SDN и ищет подходящий SDN-контроллер для управления своей сетью.

Архитектура SDN. Программно-определяемые сети (SDN) – это сетевая парадигма, которая позволяет отделить плоскость управления сетью от плоскости данных, обеспечивая программный контроль и управление сетью [1]. SDN обеспечивает централизованную платформу управления, где администраторы сети могут легко контролировать топологию сети, протоколы маршрутизации и политики безопасности с помощью программного контроллера.

Основные функции архитектуры SDN включают:

1. Абстракция плоскости управления. Архитектура SDN отличается от других сетевых архитектур тем, что она разделяет плоскость управления от плоскости данных, что позволяет абстрагировать управление от конкретной аппаратной инфраструктуры.

2. Программируемость. Архитектура SDN обладает возможностью программной настройки сетевой инфраструктуры, что позволяет ее динамически перенастраивать в соответствии с изменяющимися требованиями и условиями сетевой среды [2].

3. Централизованное управление. SDN обеспечивает централизованную платформу управления, которая позволяет администраторам сети управлять топологией сети, протоколами маршрутизации и политиками безопасности с легкостью.

4. Виртуализация сети: SDN позволяет эффективно использовать ресурсы физической сети путем создания нескольких виртуальных сетей поверх нее. Это дает возможность достижения изоляции между сетями и оптимального использования ресурсов.

5. Инженерия трафика. SDN дает возможность управлять потоками трафика, опираясь на запросы, поступающие от приложений, что способствует оптимизации производительности и эффективного использования сети.

6. Автоматизация. SDN обеспечивает среду для автоматизации настройки и управления сетью, что способствует более быстрому развертыванию сети и уменьшению затрат на эксплуатацию [3].

7. Управление сетью на основе политик. С помощью SDN можно создавать правила, которые применяются к потокам сетевого трафика. Эти правила могут использоваться для обеспечения безопасности и соответствия требованиям, определения приоритетов трафика и повышения эффективности использования сетевых ресурсов.

8. Цепочки услуг. SDN предоставляет возможность создавать последовательности сетевых функций, которые называются цепочками сервисов [4]. Эти цепочки могут быть применены к потокам трафика и использоваться для реализации различных сетевых сервисов, включая брандмауэры, балансировщики нагрузки и системы обнаружения вторжений. Создание цепочек сервисов является одним из способов использования SDN для обеспечения безопасности и оптимизации производительности сети.

9. Видимость сети. SDN предоставляет инструменты для мониторинга и анализа потоков сетевого трафика, что позволяет сетевым администраторам получить более глубокое понимание поведения сети и более эффективно диагностировать и устранять проблемы в сети.

10. Управление сетью, не зависящее от поставщика. SDN обеспечивает возможность создания независимых от производителя решений для управления сетью, которые могут управлять сетевыми устройствами различных производителей с помощью единого интерфейса. Это позволяет упростить управление сетью и уменьшить зависимость от конкретных поставщиков оборудования.

11. Динамическая реконфигурация сети: SDN дает возможность сетевым администраторам динамически изменять топологию сети и протоколы маршрутизации, реагируя на изменения в структуре сетевого трафика и устраняя сбои в сети [5].

SDN становится особенной благодаря разделению управляющей плоскости от плоскости передачи данных. На рисунке 1 можно увидеть компоненты архитектуры SDN, включая плоскость данных, управления и приложений.

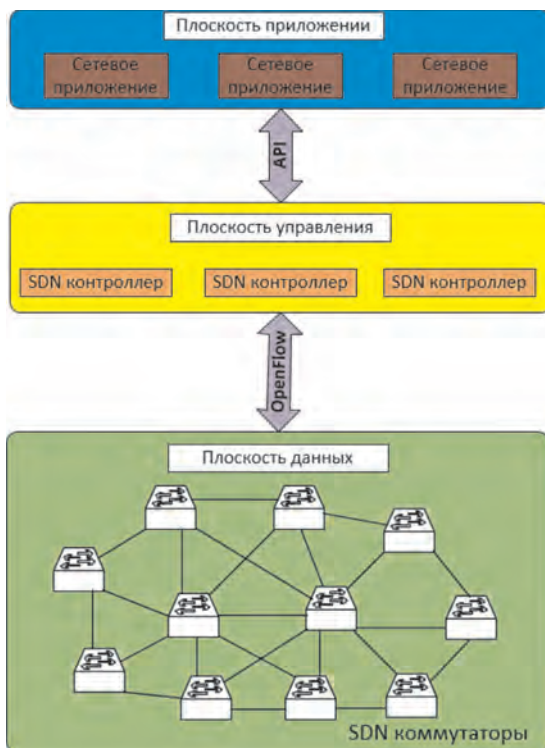


Рисунок 1 – Архитектура программно-определяемых сетей

На первом уровне расположен инфраструктурный слой, который состоит из различных сетевых устройств, таких как коммутаторы и маршрутизаторы, совместимых с протоколом OpenFlow. Они отвечают за передачу пакетов данных между различными устройствами в сети, используя информацию о маршрутизации, полученной из пакетов плоскости данных.

На втором уровне SDN находится сетевая операционная система, которая конфигурирует сетевые устройства. Она содержит один или несколько контроллеров, таких как ONOS, Maestro [6], Ryu, OpenDayLight и OpenFloodLight, которые играют роль мозгов сетей SDN. Контроллеры на плоскости управления принимают решение о пересылке новых потоков и настраивают сетевые устройства. SDN работает в соответствии со стандартом OpenFlow, который является первым стандартом для южного протокола. Эти спецификации были разработаны Stanford's Clean Slate Initiative и сейчас поддерживаются Open Network Foundation (ONF).

Третий уровень SDN – это прикладной уровень, который содержит приложения, взаимодействующие с контроллером SDN для поддержки процесса пересылки. Приложения могут агрегировать информацию от контроллера для создания абстрактного представления сети и принимать решения на основе этой информации.

SDN предлагает множество функций, позволяющих сетевым администраторам эффективнее управлять и оптимизировать свою сетевую инфраструктуру. Эти функции помогают организациям снизить эксплуатационные расходы, повысить производительность и надежность сети, а также более эффективно предоставлять услуги. Благодаря гибкой, масштабируемой и программируемой сетевой инфраструктуре, SDN позволяет организациям более эффективно управлять своими сетевыми ресурсами и предоставлять услуги.

Для оценки производительности и функциональности контроллеров SDN были проведены серии экспериментов в лабораторных условиях. Был использован эмулятор сети Mininet [7], чтобы создать топологию сети, состоящей из нескольких коммутаторов и хостов. После этого, мы подключили коммутаторы к контроллерам SDN и применили различные инструменты бенчмаркинга для измерения производительности и функциональности каждого контроллера.

Для оценки производительности контроллеров SDN мы провели серию экспериментов в лабораторных условиях. Мы измерили несколько параметров, включая скорость пересылки пакетов, задержки в плоскости управления и использование памяти каждым контроллером. Для измерения скорости пересылки пакетов мы использовали генератор трафика Ostinato [8], создавая различные нагрузки и измеряя количество пересылаемых пакетов каждым контроллером. Для измерения задержек в плоскости управления мы использовали утилиту ping для измерения времени, необходимого для передачи пакетов между контроллером и коммутаторами. Кроме того, мы использовали команду Linux top для измерения использования памяти каждым контроллером.

Для оценки функциональности каждого контроллера мы рассмотрели его возможности в области виртуализации сети, обеспечения безопасности и масштабируемости. В частности, для оценки возможностей виртуализации мы изучили способность каждого контроллера создавать и управлять виртуальными сетями, используя технологию Open Virtual Network (OVN) [9]. Для оценки безопасности мы рассмотрели поддержку каждым контроллером различных функций безопасности, таких как контроль

доступа, брандмауэр и обнаружение вторжений. В рамках оценки масштабируемости мы проверили способность каждого контроллера обрабатывать большое количество сетевых устройств и потоков.

Для обеспечения надежности результатов мы повторили каждый эксперимент несколько раз. Кроме того, мы провели статистический анализ для сравнения производительности и функциональности каждого контроллера и определения значимых различий между ними.

Благодаря применению различных методов бенчмаркинга и тестированию разных характеристик каждого контроллера, мы смогли провести всестороннее сравнение производительности и функциональности нескольких известных контроллеров SDN в строго контролируемой лабораторной среде. Это позволило нам получить точные и достоверные результаты, которые позволяют сделать выводы о том, какой контроллер лучше всего соответствует конкретным потребностям и требованиям пользователя.

Контроллеры SDN можно классифицировать по типу архитектуры и функциональным возможностям, которые они предоставляют. На рисунке 2 показаны три основных типа архитектур контроллеров SDN и их специализации. С учетом функциональных возможностей, контроллеры SDN могут быть настроены в соответствии с определенными требованиями сети, такими как управление сетевыми сервисами, определение сетевых политик, обеспечение сетевой безопасности и анализ сетевой активности.

Строгая и систематическая методология для сравнения контроллеров SDN является необходимой. Ее разработка должна учитывать множество факторов, таких как характеристики сети, тестовые сценарии, метрики производительности, инструменты тестирования, а также критерии оценки результатов. Это позволит получить точные и надежные результаты, которые могут быть использованы для принятия обоснованных решений в контексте конкретной сети. Кроме того, методология должна быть прозрачной и доступной для повторного использования. Она должна быть документирована с четкими инструкциями о том, как проводить тесты, какие данные собирать и как анализировать результаты. Это поможет обеспечить согласованность результатов и обеспечит возможность повторения тестов другими исследователями. Также, методология должна быть динамичной и готовой к адаптации к изменяющимся условиям сети и новым технологиям.



Рисунок 2 – Классификации и специализации контроллеров

Сетевые технологии постоянно развиваются, и методология должна быть способной адаптироваться к этим изменениям, чтобы оставаться актуальной и соответствовать требованиям пользователей. Здесь представлена более подробная информация о каждом этапе методики сравнения контроллеров SDN [10]:

Выбор контроллеров SDN. Первым этапом методологии является выбор контроллеров SDN, которые будут сравниваться. Для этого могут быть использованы различные критерии, такие как популярность, зрелость и поддержка сообщества разработчиков с открытым исходным кодом. Предпочтительными являются контроллеры, которые широко используются и имеют проверенную историю производительности и надежности. Также, они должны быть совместимы с сетевыми устройствами, используемыми в исследовании, и иметь активное сообщество пользователей, которое может предоставить поддержку и помощь.

Топология сети. Для сравнительного исследования необходимо выбрать топологию сети, которая наиболее точно отображает реальные условия. Она должна включать различные типы сетевых устройств, таких как маршрутизаторы, коммутаторы и брандмауэры, а также различные виды трафика, от различных приложений и сервисов. Топология также должна быть масштабируемой, позволяющей изменять количество и типы сетевых устройств и протоколов трафика. Это позволит провести сравнение контроллеров SDN в более реалистичных условиях и получить более точные результаты.

Тестовые сценарии. Для оценки производительности контроллеров SDN необходимо разработать разнообразный набор тестовых сценариев, охватывающих различные функции сети, такие как управление трафиком, обеспечение безопасности и виртуализация сети. Сценарии должны отражать реальные случаи использования и быть разработаны для проведения стресс-тестирования контроллеров в различных сетевых условиях.

Метрики. Дополнительно к метрикам, которые вы указали, можно также измерять масштабируемость и устойчивость контроллеров SDN. Масштабируемость относится к способности контроллера обрабатывать большие объемы трафика и управлять большим количеством сетевых устройств. Устойчивость относится к способности контроллера обрабатывать трафик даже при возникновении сбоев в сети или самих устройств контроллера. Метрики масштабируемости и устойчивости также должны быть определены и измерены в тестовых сценариях.

Инструменты тестирования. При выборе инструментов для тестирования производительности контроллеров SDN, необходимо учитывать их возможности по автоматизации тестирования. Автоматизация позволит значительно ускорить процесс тестирования и сделать его более точным, а также уменьшить возможность ошибок человеческого фактора. Некоторые инструменты для тестирования производительности контроллеров SDN, такие как Mininet и OVS, могут предоставить среду виртуальной сети для тестирования, что также может упростить процесс тестирования и уменьшить затраты на аппаратное обеспечение.

Выполнение тестов. Проведение тестирования несколько раз в различных условиях поможет убедиться в стабильности и последовательности результатов, а также в доказательстве того, что результаты не являются случайными или аномальными.

Документация тестов и их результатов очень важна для обеспечения повторяемости и воспроизводимости тестирования другими исследователями, а также для обеспечения прозрачности и доверия к результатам.

Анализ данных. Для анализа результатов тестирования контроллеров SDN можно использовать различные методы статистического анализа, такие как сравнение средних значений, анализ дисперсии, анализ чувствительности и другие. Важно также учитывать, что результаты тестирования могут быть зависимы от конфигурации сети, используемых устройств и настроек контроллеров. Поэтому необходимо проводить анализ результатов с учетом этих факторов и обеспечивать их повторяемость для достижения точных и надежных результатов.

Для того чтобы корректно сравнивать контроллеры SDN, требуется применять тщательно разработанную и систематическую методологию. Эта методология должна гарантировать правильность, надежность и соответствие результатов с реальными условиями эксплуатации. Благодаря четко определенной методологии, сетевые администраторы смогут принимать обоснованные решения о том, какой контроллер SDN наилучшим образом соответствует их конкретным сетевым потребностям.

Количественная оценка и сравнительный анализ контроллеров. Было проведено несколько исследований, в которых сравнивалась производительность и функциональность различных контроллеров SDN. Например, авторы в [11] сравнили производительность четырех контроллеров SDN, включая Floodlight, OpenDaylight, Ryu и POX [28], и оценили их масштабируемость и устойчивость к сетевым сбоям. Аналогично авторы в [12] оценили производительность и функциональность пяти контроллеров SDN, включая Beacon, Floodlight, NOX [27], OpenDaylight и Ryu, и сравнили их поддержку виртуализации и безопасности сети.

В [13] авторы оценили производительность OpenDaylight, Floodlight и Ryu в среде с несколькими контроллерами и сравнили их масштабируемость и возможности обхода отказа. Они также сравнили производительность этих контроллеров с устаревшей сетевой архитектурой. В [14] авторы оценили производительность и масштабируемость OpenDaylight и Floodlight в среде облачного центра обработки данных и сравнили их производительность с традиционной сетевой архитектурой.

Другие исследования были сосредоточены на оценке производительности конкретных SDN- контроллеров. Например, в [15] авторы оценили производительность контроллеров OpenFlow, включая Beacon, Floodlight и NOX, и сравнили их поддержку виртуализации и безопасности сети. В [16] авторы оценили производительность и масштабируемость Ryu в среде облачного центра обработки данных и сравнили ее с традиционными сетевыми архитектурами.

Эти исследования позволили получить ценные сведения о производительности и функциональности различных контроллеров SDN. Однако по-прежнему существует необходимость в дальнейших исследованиях для оценки производительности и функциональности новых контроллеров SDN, а также для определения лучших практик выбора и развертывания контроллера SDN в сетевой среде.

Возможности контроллера SDN:

1. Northbound API: северный API позволяет интегрировать контроллер SDN с другими приложениями и системами управления, такими как системы управления

облачной инфраструктурой или системы мониторинга. Это позволяет расширить возможности управления сетью и интегрировать ее в общую инфраструктуру организации. Северный API может быть основан на различных протоколах, таких как REST, NETCONF, или протоколе управления приложениями (Application Management Protocol, AMP).

2. Southbound API – это интерфейс, который позволяет контроллеру SDN управлять сетевыми устройствами, работающими на уровне передачи данных. Южный API обычно использует протокол OpenFlow для управления коммутаторами и маршрутизаторами, хотя существуют и другие протоколы для взаимодействия между контроллером и сетевыми устройствами. Через южный API контроллер может направлять потоки трафика и настраивать параметры сетевых устройств для оптимизации работы сети.

3. Обнаружение топологии сети: контроллер SDN способен обнаруживать топологию сети, используя протоколы, такие как OpenFlow и Link Layer Discovery Protocol (LLDP). Это позволяет контроллеру построить карту сети и определить связи между устройствами в ней [19].

4. Управление сетью: контроллер SDN является централизованной платформой управления сетевой инфраструктурой [20], обеспечивая возможность конфигурации сетевых устройств, мониторинга поведения сети и выявления неполадок в работе сети.

5. Инженерия трафика: с помощью контроллера SDN можно определять пути передачи трафика на основе требований приложений. Это позволяет оптимизировать производительность сети и эффективно использовать ее ресурсы. Контроллер может направлять трафик через определенные устройства и каналы связи, учитывая требования к задержке, пропускной способности и качеству обслуживания (QoS), установленные для конкретного приложения. Это также может помочь избежать перегрузки определенных узлов и обеспечить более надежную и предсказуемую работу сети.

6. Политики безопасности: контроллер SDN может управлять безопасностью в сети, определяя политики безопасности и направляя потоки трафика через соответствующие устройства безопасности, такие как брандмауэры и системы обнаружения вторжений. Это обеспечивает более эффективную и удобную защиту сети от угроз безопасности. [21].

7. Виртуализация сети: контроллер SDN обладает возможностью виртуализации сети, которая позволяет создавать несколько виртуальных сетей на основе физической сети. Это позволяет более эффективно использовать ресурсы сети и обеспечивает изоляцию виртуальной сети. Благодаря этому можно повысить безопасность и производительность сети, а также упростить управление ее настройками [22].

Контроллер SDN представляет собой централизованную платформу управления, которая позволяет администраторам сетей настраивать и управлять сетевой инфраструктурой в режиме реального времени. Использование контроллера может помочь организациям улучшить производительность и надежность сети, а также снизить эксплуатационные расходы и увеличить эффективность предоставления услуг. Таблица 1 содержит полный обзор свойств различных контроллеров, но из-за ограниченности пространства и того, что не все контроллеры обеспечивают полную информацию о своих внутренних процессах, мы не можем рассмотреть каждый контроллер отдельно. Вместо этого мы представляем общие свойства и дизайн контроллеров.

Инструментов сравнения контроллеров на сегодняшний день очень много. Мы представили сравнительный анализ трех основных инструментов, часто используемых для оценки в большинстве работ.

CBench [29] – это инструмент бенчмаркинга с открытой лицензией, который используется для оценки производительности контроллеров OF SDN, поддерживающих OF 1.0 и 1.3. Однако из-за ограничений совместимости контроллеры, поддерживающие OF 1.3, могут столкнуться с проблемами производительности. CBench имеет две основные метрики оценки: задержку и пропускную способность. Чтобы измерить задержку, vSwitch отправляет одно сообщение `packet_in` в сторону контроллера и ждет ответа, повторяя тест несколько раз для получения средней производительности. Общее количество подтверждений, полученных за период тестирования, используется для вычисления средней задержки. Чтобы измерить пропускную способность, каждый vSwitch непрерывно отправляет максимально возможное количество сообщений `packet_in` для оценки возможностей контроллера.

HCprobe [30] является расширением CBench с открытым исходным кодом, которое использует комбинацию Python и сценариев Shell для расширения возможностей оценки производительности, таких как надежность и масштабируемость. Эмулируемый коммутатор может отправлять уязвимые OF-сообщения контроллерам для проверки их отказоустойчивости и надежности. Тестовый механизм использует ядро Linux для настройки и масштабирования потоков процессора, что позволяет получить более точную статистику производительности контроллера SDN. В итоге, HCprobe предоставляет дополнительные возможности для оценки производительности контроллера SDN.

Hvbench [31, 32] является бесплатным инструментом для бенчмаркинга гипервизоров, созданным на базе SDN и доступным в открытом доступе. Он может использоваться в качестве контейнеров для нескольких контроллеров SDN и устройств плоскости данных, а также предоставляет различные сценарии рабочей нагрузки, позволяющие проводить масштабные оценки производительности гипервизоров SDN. Тем не менее, стоит учитывать, что инструмент имеет ограничения. Во-первых, он работает только с инициализированным гипервизором, поэтому не может использоваться для физической инфраструктуры SDN. Во-вторых, для оценки производительности необходимо предварительно настроить распределение межприходного OF-трафика, что делает невозможным использование других типов пакетов для потоков трафика.

Результаты сравнительного исследования могут показать, что определенные контроллеры SDN работают лучше других в определенных сетевых сценариях. Например, одни контроллеры могут лучше подходить для крупномасштабных сетей с высокой нагрузкой на трафик, а другие – для небольших сетей с более простой структурой трафика. Результаты могут также выявить области, в которых определенные контроллеры превосходят другие, например, политики безопасности, виртуализация сети или организация трафика.

Кроме того, результаты сравнительного исследования могут выявить области, в которых определенные контроллеры имеют ограничения или недостатки. Например, некоторые контроллеры могут иметь ограниченную поддержку определенных сетевых устройств или протоколов, или могут иметь более сложную кривую обучения для

сетевых администраторов. Выявив эти ограничения, сетевые администраторы могут принять обоснованное решение о том, какой контроллер SDN использовать и как его настроить для удовлетворения требований своей сети.

Заключение. Контроллеры SDN предлагают ряд преимуществ для сетевых администраторов, включая повышенную гибкость, масштабируемость и производительность. Однако при наличии на рынке целого ряда контроллеров SDN сетевым администраторам может быть сложно выбрать подходящий контроллер для своих конкретных сетевых требований.

Сравнительное исследование контроллеров SDN может дать ценную информацию о производительности, масштабируемости и надежности различных контроллеров в различных условиях сети. Учитывая такие факторы, как стоимость, простота использования, совместимость, открытость и поддержка сообщества, сетевые администраторы могут принимать обоснованные решения о том, какой SDN- контроллер использовать и как его настроить для удовлетворения требований своей сети.

Кроме того, результаты сравнительного исследования могут выявить области, в которых определенные контроллеры превосходят или имеют ограничения, что поможет сетевым администраторам оптимизировать производительность и функциональность сети. В конечном итоге, выбор контроллера SDN зависит от ряда факторов, специфичных для организации и ее сетевых требований. Тщательное сравнительное исследование может помочь обеспечить выбор и настройку правильного SDN-контроллера для обеспечения оптимальной производительности и функциональности сети.

ЛИТЕРАТУРА

1 Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. Сан-Франциско, 2012.

2 Kreutz, D. и др. Software-defined networking: A comprehensive survey. Proceedings of the IEEE, 2015, том 103, №1, С. 14-76.

3 Ong, L., & Ranganathan, S. Software-defined networking (SDN) and IP traffic engineering (TE): Optimal routing algorithms for dynamic traffic engineering in SDN-based IP networks // IEEE Communications Magazine. – 2014. – Т. 52, № 7. – С. 52-60. – doi: 10.1109/MCOM.2014.6852114.

4 Gember, A., Tootoonchian, A., Casado, M., Sherwood, R., и McKeown, N. (2014). OpenNF: Enabling innovation in network function control [OpenNF: Обеспечение инноваций в управлении функциями сетевого уровня]. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 44(2), 68-73. doi: 10.1145/2602204.2602218.

5 Bianco, A., Gallo, P., & Salsano, S. (2013). Открытые вопросы программно-определяемых сетей. Computer Networks, 57(3), 708-728. doi:10.1016/j.comnet.2012.08.027.

6 Чжэн Цай, Алан Л. Кокс, и Т. С. Юджин Нг. 2010. Maestro: Система масштабируемого управления OpenFlow. Технический отчет TR10-08. Райс Университет.

7 Команда Mininet. (2018). Mininet: мгновенная виртуальная сеть на вашем ноутбуке (или другом ПК). Mininet. Получено 22 сентября 2022 года с сайта <http://mininet.org>.

8 Ostinato. (2022). Network traffic generator tool. Получено 22 сентября 2022 года с сайта <https://ostinato.org/>.

9 Kumar, S., & Parashar, M. (2018). Towards scalable virtual network function chaining in Open Virtual Network. Proceedings of the IEEE Conference on Network Function Virtualiza-

tion and Software Defined Networks (NFV-SDN'18), С. 1-6. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8725771>.

10 Rodrigues, L., Sousa, J. и Granville, L. A methodology for comparing OpenFlow controllers. *Journal of Network and Computer Applications*, 2015, vol. 57, С. 49-61.

11 Halepovic, E., Vajric, S. и Klobucar, M. Comparative analysis of SDN controllers based on performance and scalability. In: *IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*, Subotica, 2015, С. 249-254.

12 Huang, M.C. и Huang, C.Y., "Comparison of OpenFlow controllers," *Proceedings of the 2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C)*, Taichung, 2014, С. 457-460.

13 Ha, S.S., Kim, S.Y., and Lee, Y.H., "Performance evaluation of SDN controllers in a multi-controller environment," *Proceedings of the 2016 International Conference on Information Networking (ICOIN)*, Kota Kinabalu, 2016, С. 465-470.

14 Sherif, M.A., Kim, H., and Kim, Y., "Performance evaluation of OpenDaylight and Floodlight controllers for cloud data center networks," *Journal of Network and Computer Applications*, том 82, С. 1- 15, 2017.

15 Kumar, S. and Gopalan, J.P., "Comparative performance analysis of OpenFlow controllers for virtualized networks," *Journal of Network and Computer Applications*, том 59, С. 169-182, 2016.

16 Dinh, D.D., Liu, A., Kumar, A., Liu, K., and Zhang, B., "Ryu: A component-based software-defined networking framework," *Journal of Network and Computer Applications*, том 67, С. 165-175, 2016.

17 Kreutz, D., Ramos, F.M.V., Verissimo, P., Rothenberg, C.E., Azodolmolky, S., and Uhlig, S., "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, том 17, №1, С. 27-51, 2015.

18 Goransson, P. and Black, C., *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach*, O'Reilly Media, Inc., 2016.

19 Bombal, D., *SDN and OpenFlow for beginners with hands-on labs*, Udemy Course, 2021.

20 Subramanian, S., *Software Defined Networking (SDN) with OpenStack*, Packt Publishing, 2016.

21 Das, S., *Mastering OpenDaylight*, Packt Publishing, 2016.

22 Nadeau, T.D. and Gray, K., *SDN: Software Defined Networks*, O'Reilly Media, Inc., 2013.

23 Linux Foundation. (2018). OpenDaylight Project. Получено 9 июня 2022 года с сайта <https://wiki.opendaylight.org>

24 Berde, P., Gerola, M., Hart, J., Higuchi, Y., Kobayashi, M., Koide, T., Lantz, B., et al. (2014). ONOS. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking (HotSDN'14)* (С. 1–6). ACM, New York, NY.

25 Atlassian. (2016). Floodlight Controller. Получено 15 декабря 2022 года с <https://floodlight.atlassian.net/wiki/spaces/floodlightcontroller/pages/1343542/Getting+Started>.

26 Ryu SDN Framework Community. (2017). Ryu SDN Framework. Получено 12 декабря 2022 года с сайта <https://github.com/faucetsdn/ryu>

27 Gude, N., Koponen, T., Pettit, J., Pfaff, B., Casado, M., McKeown, N., & Shenker, S. (2008). NOX: Towards an operating system for networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 38(3), 105–110.

28 POX. (2018). POX Controller Manual. Получено 6 января 2023 года с сайта <https://noxrepo.github.io/pox-doc/html/>

29 Sherwood, R., & Yap, K. K. (2011). Cbench Controller Benchmark. Получено 6 января 2023 года с сайта <https://github.com/andi-bigswitch/oflops/tree/master/cbench>.

30 Shalimov, A., Zuikov, D., Zimarina, D., Pashkov, V., & Smeliansky, R. (2013). Advanced study of SDN/OpenFlow controllers. In *Proceedings of the 9th Central and Eastern European Software Engineering Conference* (pp. 1–6). ACM, New York, NY.

31 Sieber, C. (2018). hvbench: An open and Scalable SDN Hypervisor Benchmark. Получено 21 января 2023 года с сайта <https://github.com/tum-lkn/perfbench>.

32 Sieber, C., Blenk, A., Basta, A., & Kellerer, W. (2016). hvbench: An open and scalable SDN network hypervisor benchmark. In Proceedings of the IEEE NetSoft Conference and Workshops (C. 403–406). IEEE, Los Alamitos, CA.

REFERENCES

1 Open Networking Foundation. Software-Defined Networking: The New Norm for Networks. San Francisco, 2012.

2 Kreutz, D. et al. Software-defined networking: A comprehensive survey. Proceedings of the IEEE, 2015, vol. 103, no. 1, pp. 14-76.

3 Ong, L., & Ranganathan, S. Software-defined networking (SDN) and IP traffic engineering (TE): Optimal routing algorithms for dynamic traffic engineering in SDN-based IP networks // IEEE Communications Magazine. – 2014. – Т. 52, № 7. – pp. 52-60. – doi: 10.1109/MCOM.2014.6852114.

4 Gember, A., Tootoonchian, A., Casado, M., Sherwood, R., & McKeown, N. (2014). OpenNF: Enabling innovation in network function control. ACM SIGCOMM Computer Communication Review, 44(2), 68-73. doi: 10.1145/2602204.2602218.

5 Bianco, A., Gallo, P., & Salsano, S. (2013). Open issues in software defined networking. Computer Networks, 57(3), 708-728. doi:10.1016/j.comnet.2012.08.027.

6 Zheng Cai, Alan L. Cox, and T. S. Eugene Ng. 2010. Maestro: A System for Scalable OpenFlow Control. Technical Report TR10-08. Rice University.

7 Mininet Team. 2018. Mininet: An Instant Virtual Network on Your Laptop (or other PC) Mininet. Retrieved September 22, 2022 from <http://mininet.org/>.

8 Ostinato. (2022). Network traffic generator tool. Retrieved September 22, 2022 from <https://ostinato.org/>.

9 Kumar, S., & Parashar, M. (2018). Towards scalable virtual network function chaining in Open Virtual Network. Proceedings of the IEEE Conference on Network Function Virtualization and Software Defined Networks (NFV-SDN'18), pp. 1-6. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8725771>.

10 Rodrigues, L., Sousa, J. and Granville, L. A methodology for comparing OpenFlow controllers. Journal of Network and Computer Applications, 2015, vol. 57, pp. 49-61.

11 Halepovic, E., Bajric, S. and Klobucar, M. Comparative analysis of SDN controllers based on performance and scalability. In: IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), Subotica, 2015, pp. 249-254.

12 Huang, M.C. and Huang, C.Y., "Comparison of OpenFlow controllers," Proceedings of the 2014 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), Taichung, 2014, pp. 457-460.

13 Ha, S.S., Kim, S.Y., and Lee, Y.H., "Performance evaluation of SDN controllers in a multi-controller environment," Proceedings of the 2016 International Conference on Information Networking (ICOIN), Kota Kinabalu, 2016, pp. 465-470.

14 Sherif, M.A., Kim, H., and Kim, Y., "Performance evaluation of OpenDaylight and Floodlight controllers for cloud data center networks," Journal of Network and Computer Applications, vol. 82, pp. 1-15, 2017.

15 Kumar, S. and Gopalan, J.P., "Comparative performance analysis of OpenFlow controllers for virtualized networks," Journal of Network and Computer Applications, vol. 59, pp. 169-182, 2016.

16 Dinh, D.D., Liu, A., Kumar, A., Liu, K., and Zhang, B., "Ryu: A component-based software-defined networking framework," Journal of Network and Computer Applications, vol. 67, pp. 165-175, 2016.

17 Kreutz, D., Ramos, F.M.V., Verissimo, P., Rothenberg, C.E., Azodolmolky, S., and Uhlig, S., "Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 1, pp. 27-51, 2015.

18 Goransson, P. and Black, C., *Software Defined Networks: A Comprehensive Approach*, O'Reilly Media, Inc., 2016.

19 Bombal, D., *SDN and OpenFlow for beginners with hands-on labs*, Udemy Course, 2021.

20 Subramanian, S., *Software Defined Networking (SDN) with OpenStack*, Packt Publishing, 2016.

21 Das, S., *Mastering OpenDaylight*, Packt Publishing, 2016.

22 Nadeau, T.D. and Gray, K., *SDN: Software Defined Networks*, O'Reilly Media, Inc., 2013.

23 Linux Foundation. (2018). OpenDaylight Project. Retrieved June 9, 2022 from <https://wiki.opendaylight.org>

24 Berde, P., Gerola, M., Hart, J., Higuchi, Y., Kobayashi, M., Koide, T., Lantz, B., et al. (2014). ONOS. In *Proceedings of the 3rd Workshop on Hot Topics in Software Defined Networking (HotSDN'14)* (pp. 1–6). ACM, New York, NY.

25 Atlassian. (2016). Floodlight Controller. Retrieved December 15, 2022 from <https://floodlight.atlassian.net/wiki/spaces/floodlightcontroller/pages/1343542/Getting+Started>.

26 Ryu SDN Framework Community. (2017). Ryu SDN Framework. Retrieved December 12, 2022 from <https://github.com/faucetsdn/ryu>.

27 Gude, N., Koponen, T., Pettit, J., Pfaff, B., Casado, M., McKeown, N., & Shenker, S. (2008). NOX: Towards an operating system for networks. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 38(3), 105–110.

28 POX. (2018). POX Controller Manual. Retrieved January 6, 2023 from <https://noxrepo.github.io/pox-doc/html/>

29 Sherwood, R., & Yap, K. K. (2011). Cbench Controller Benchmark. Retrieved January 6, 2023 from <https://github.com/andi-bigswitch/oflops/tree/master/cbench>.

30 Shalimov, A., Zuikov, D., Zimarina, D., Pashkov, V., & Smeliansky, R. (2013). Advanced study of SDN/OpenFlow controllers. In *Proceedings of the 9th Central and Eastern European Software Engineering Conference* (pp. 1–6). ACM, New York, NY.

31 Sieber, C. (2018). hvbench: An open and Scalable SDN Hypervisor Benchmark. Retrieved January 21, 2023 from <https://github.com/tum-lkn/perfbench>.

32 Sieber, C., Blenk, A., Basta, A., & Kellerer, W. (2016). hvbench: An open and scalable SDN network hypervisor benchmark. In *Proceedings of the IEEE NetSoft Conference and Workshops* (pp. 403–406). IEEE, Los Alamitos, CA.

С. К. БУРГУМБАЕВА*, Д. И. ТУНГУШБАЕВА, М. АЛДАЙ, Б. С. НУРИМОВ

*Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
e-mail: *burgumbayeva_sk@enu.kz*

ҮШІНШІ РЕТТІ ГАРМОНИЯЛЫҚ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ҮШІН ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕПТЕР

Кез-келген ретті дербес туындылы күрделі дифференциалдық теңдеулер үшін негізгі шекаралық есептерді жүйелі түрдегі зерттеулері модельдік теңдеулермен шектелген. Лаплас теңдеуіне төрт негізгі шекаралық есептерді қоюға болады, атап айтқанда Шварц, Дирихле, Нейман, Робин есептері. Бұл шекаралық есептер аналитикалық функциялар және жалпы біртекті емес Коши-Риман теңдеуі үшін қарастырылады. Мақалада Дирихле мен Нейманның бірлік шеңберіндегі үш-гармониялық функциялар үшін шекаралық есептерінің негізгі қасиеттері қарастырылып дәлелденеді. Шешімдері нақты түрде интегралдық түрлендірулер арқылы дәлелденген. Негізгі пайдаланған түсініктемелер – Гаусс теоремасы және Коши-Помпейдің анықтамалары, сонымен қатар бірлік шеңберіндегі би-гармониялық дифференциалдық теңдеулер үшін Дирихле мен Нейманның есептері.

Түйін сөздер: шекаралық есептер, Дирихле, Нейман, бірлік шеңбер, гармониялық функциялар.

С. К. БУРГУМБАЕВА*, Д. И. ТУНГУШБАЕВА, М. АЛДАЙ, Б. С. НУРИМОВ

*Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан
e-mail: *burgumbayeva_sk@enu.kz*

КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА

Систематическое исследование основных краевых задач для сложных дифференциальных уравнений в частных производных произвольного порядка ограничено модельными уравнениями. На единичном диске исследуются четыре основные краевые задачи, а именно задачи Шварца, Дирихле, Неймана, Робина для аналитических функций и в более общем плане для неоднородного уравнения Коши-Римана. В статье рассмотрены и доказаны свойства краевых задач Дирихле и Неймана для три-гармонических функций в единичной окружности. Представление решений и условия разрешимости даны в явном виде. Фундаментальными инструментами являются теорема Гаусса

и представление Коши-Помпею, а также задачи Дирихле и Неймана для би-гармонических уравнений на единичной окружности.

Ключевые слова: краевая задача, Дирихле, Нейман, единичная окружность, гармонические функции.

S. K. BURGUMBAYEVA*, D. I. TUNGUSHBAYEVA, M. ALDAI, B. S. HURIMOV

L.N.Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan
e-mail: *burgumbayeva_sk@enu.kz

BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR THE HARMONIC DIFFERENTIAL EQUATIONS OF THE THIRD ORDER

The study of the main boundary value problems for complex partial differential equations of any order is limited to model equations. Four main boundary value problems are investigated on the unit disk, namely the Schwarz, Dirichlet, Neumann, Robin problems for analytical functions and more generally for the inhomogeneous Cauchy-Riemann equation. The article considers and proves the properties of Dirichlet and Neumann boundary value problems for three-harmonic functions in a unit disc. The representation of solutions and the conditions of solvability are given explicitly. The fundamental tools are the Gauss theorem and the Cauchy-Pompey representation, as well as Dirichlet and Neumann problems for bi-harmonic equations on a unit circle.

Key words: boundary value problem, Dirichlet, Neumann, unit disc, harmonic functions.

Кіріспе. C комплекс жазықтығының $z = x + iy$ айнымалысы берілсін, мұндағы $x, y \in R$. Комплекс жазықтығын белгіленуі: $\hat{C} := C \cup \{\infty\}$.

$\bar{z} = x - iy$ комплекс саны z -қа түйіндес сан. z санының нақты және жорамал бөліктерін $Re z$, $Im z$ деп белгілейміз.

Комплекс анализда комплекс дербес дифференциалдық операторларды ∂_z және $\partial_{\bar{z}}$ деп белгілеуге ыңғайлы. Нақты дербес дифференциалдық операторлар ∂_x және ∂_y келесідей анықталсын:

$$2\partial_z = \partial_x - i\partial_y, 2\partial_{\bar{z}} = \partial_x + i\partial_y \quad (1)$$

Формальды түрдегі жазылуы:

$$z = x + iy, \bar{z} = x - iy, x, y \in R,$$

$w = u + iv$ комплексті айнымалы функция екі нақты u және v функциялардан құралған. z және \bar{z} айнымалылары $w(z)$ функциясына тиісті. w тәуелсіз болған жағдайда \bar{z} ол C комплекс жазықтығының ашық жиыны болып табылады. Бұл Коши-Риман жүйесін қанағаттандыратын бірінші ретті дербес дифференциалдық теңдеулер

$$u_x = v_y, u_y = -v_x \quad (2)$$

Бұл

$$w_{\bar{z}} = 0 \quad (3)$$

эквивалент болады

$$2\partial_{\bar{z}}w = (\partial_x + i\partial_y)(u + iv) = \partial_x u - \partial_y v + i(\partial_x v + \partial_y u) \quad (4)$$

Басқа жағдайда

$$\begin{aligned} 2\partial_z w &= (\partial_x - i\partial_y)(u + iv) = \partial_x u + \partial_y v + i(\partial_x v - \partial_y u) \\ &= 2\partial_x w = -2i\partial_y w = 2w' \end{aligned} \quad (5)$$

Қандайда бір нақты облыста үзіліссіз дифференциалданатын екі айнымалыға тәуелді комплекс туындылы функция үшін нақты Гаусс теоремасын пайдаланамыз, яғни тегіс шектік болатын $- \partial D$, шектік облыс $- D$ және жабық $D = D \cup \partial D$ жалғасады, жеңілдеуі комплекс түрде бола алады.

Есептеудің негізгі теоремасы. z_0 -ден тәуелді w аналитикалық функция болсын және $z_0 \in C$, яғни z_0 қандай да бір көршілес z -ке қатысты комплекс жазықтығында дифференциалданатын функция

$$w(z) = w(z_0) + \int_{z_0}^z w'(\zeta) d\zeta, \quad (6)$$

w функциясы z_0 -ге тәуелді аналитикалық функция болсын делік, $z_0 \in C$, онда кез-келген $n \in N$ және мұндағы z ол z_0 маңайына кіреді.

$$w(z) = \sum_{k=0}^n \frac{1}{k!} w^{(k)}(z_0)(z - z_0)^k + \frac{1}{n!} \int_{z_0}^z (z - \zeta)^n w^{(n+1)}(\zeta) d\zeta. \quad (7)$$

Гаусс теоремасының комплекс түрі:

Гаусс немесе Гаусс-Остроградский теоремасы ол комплекс жазықтығындағы қарапайым айнымалылар үшін есептеулердің негізгі теоремасы болып табылады. Нақты айта келсек: Коши-Риман операторлары үшін $2\partial_{\bar{z}} = \partial_x + i\partial_y$ және түйіндес операторлары үшін $2\partial_z = \partial_x - i\partial_y$.

$D \subset C$ тұрақты облыс болсын және $w \in C^1(D; C) \cap C(\bar{D}; C)$. Онда

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(z) dz = \frac{1}{\pi} \int_D w_{\bar{z}}(z) dx dy, \quad -\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(z) d\bar{z} = \frac{1}{\pi} \int_D w_z(z) dx dy. \quad (8)$$

Тұрақты аймақ деп-тегіс шекарасы бар шектеулі аймақты аламыз.

Осы Гаусс теоремаларынан интегралды ұсыну формулалары қатысатын дифференциалдық операторларға іргелі шешім қосу арқылы азаяды. Бұл Коши-Риман операторына арналған (кейбір тұрақты мультипликаторға дейін) $1/\bar{z}$.

Кез-келген нүктені таңдасақ $z \in D$ болатын және Гаусс теоремасына $w(\zeta)/(\zeta - z)$ функциясын пайдаланатын болсақ, онда кез-келген $0 < \varepsilon$ өте кішкентай шексіз шама үшін $D_\varepsilon = D \setminus \{\zeta : |\zeta - z| \leq \varepsilon\}$ және нөлге ұмтылатын формуласына әкеледі. Сол сияқты екінші Гаусс формуласын шығаруға болады.

Коши-Помпей формуласы: Гаусс теоремасының болжамдарын қанағаттандыратын D және w берілсін. Онда

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta - z} - \frac{1}{\pi} \int_D w_{\bar{z}}(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{\zeta - z} = \begin{cases} w(z), & z \in D, \\ 0, & z \in \bar{C} \setminus \bar{D}, \end{cases} \quad (9)$$

$$-\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{d\bar{\zeta}}{\zeta - z} - \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta}(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{\zeta - z} = \begin{cases} w(z), & z \in D, \\ 0, & z \in \bar{C} \setminus \bar{D}, \end{cases} \quad (10)$$

Мұндағы $\zeta = \xi + i\eta$ деп аламыз. Келесі функция $1/(\zeta - z)$ – Коши ядросы. Интегралды операторды келесідей аламыз:

$$Tf(z) = -\frac{1}{\pi} \int_D f(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{\zeta - z}$$

Коши-Помпей операторы деп атаймыз. f функциясы үшін: $f \in L_p(D; C), 1 \leq p$.

Оның қасиеттері тереңірек [] жұмысында жалпыланған аналитикалық функциялар теориясына байланысты зерттелген. Tf әлсіз дифференциалдау (тарату мағынасында):

$$\partial_{\bar{z}} Tf = f, \partial_z Tf = Pf$$

мұндағы

$$Pf(z) = -\frac{1}{\pi} \int_D f(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{(\zeta - z)^2}$$

Кальдерон-Зигмунд типті сингулярлық интегралды операторды Π - Коши принципінің мәні бойынша интеграл ретінде қабылдануы керек. Бұл альфорс-Берлинг операторының қасиеттерінде зерттелуде [1-2].

D облысындағы w функциясы, яғни D облысында $w_{\bar{z}} = 0$, формуласы аналитикалық функциялар үшін Коши формуласы болып табылады, функциялар теориясының негізгі құралдарының бірі және аналитикалық функциялардың көптеген қасиеттерінің көзі.

Ұсынылып отырған ((9)) және ((10)) формулалары итерацияға жарамды. Бұл, сонымен бірге Коши-Помпейдің жоғары дәрежелі формулаларына, сондай-ақ қатысатын дифференциалдық операторлардың негізгі шешімдеріне әкеледі.

Егер $f \in L_1(D; C)$ онда кез-келген $\varphi \in C_0^1(D; C)$ үшін

$$\int_D Tf(z)\varphi_{\bar{z}}(z) dx dy + \int_D f(z)\varphi(z) dx dy = 0 \quad (11)$$

мұндағы $C_0^1(D; C)$ ол D облысындағы комплекс-айнымалы функциялар жиыны болып белгіленеді, яғни шекараның маңайында жойылып кетеді.

Шекаралық есептерге келетін болсақ, Коши-Помпей формуласы бірлік шеңбердің жағдайында өзгереді $D = \{z : |z| < 1\}$.

Кез-келген $w \in C^1(D; C) \cap C(\bar{D}; C)$ келесідей анықталады

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \operatorname{Re} w(\zeta) \frac{\zeta+z}{\zeta-z} \frac{d\zeta}{\zeta} + \frac{1}{2\pi} \int_{|\zeta|=1} \operatorname{Im} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \left(\frac{w_{\bar{\zeta}}(\zeta)}{\zeta-z} + \frac{\overline{zw_{\bar{\zeta}}(\zeta)}}{1-z\bar{\zeta}} \right) d\xi d\eta, |z|<1. \quad (12)$$

Кез келген $w \in C^1(D; C) \cap C(\bar{D}; C)$ делік, онда

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \operatorname{Re} w(\zeta) \frac{\zeta+z}{\zeta-z} \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{2\pi} \int_{|\zeta|<1} \left(\frac{w_{\bar{\zeta}}(\zeta)}{\zeta} \frac{\zeta+z}{\zeta-z} + \frac{\overline{w_{\bar{\zeta}}(\zeta)}}{\bar{\zeta}} \frac{1+z\bar{\zeta}}{1-z\bar{\zeta}} \right) d\xi d\eta + i \operatorname{Im} w(0), |z|<1. \quad (13)$$

деп анықталады.

Екінші ретті Коши-Помпей формуласы: $D \subset C$ тұрақты облыс болсын және $w \in C^2(D; C) \cap C^1(\bar{D}; C)$. Онда $z \in D$ үшін:

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta-z} - \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w_{\bar{\zeta}}(\zeta) \frac{\bar{\zeta}-z}{\zeta-z} d\zeta + \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \frac{\bar{\zeta}-z}{\zeta-z} d\xi d\eta \quad (14)$$

және

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta-z} - \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w_{\bar{\zeta}}(\zeta) \log |\zeta-z|^2 d\bar{\zeta} + \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log |\zeta-z|^2 d\xi d\eta \quad (15)$$

болады.

Полианалитикалық Коши-Помпей формуласы: кез келген $n \geq 1$ үшін $w \in C^n(D; C) \cap C^{n-1}(\bar{D}; C)$ берілсін. Онда

$$w(z) = \sum_{v=0}^{n-1} \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \partial_{\bar{\zeta}}^v w(\zeta) \frac{(\bar{z}-\bar{\zeta})^v}{v!(\zeta-z)} d\zeta - \frac{1}{\pi} \int_D \partial_{\bar{\zeta}}^n w(\zeta) \frac{(\bar{z}-\bar{\zeta})^{n-1}}{(n-1)!(\zeta-z)} d\xi d\eta \quad (16)$$

Полигармоникалық Коши-Помпей формуласы: кез келген $n \geq 1$ үшін $w \in C^{2n}(D; C) \cap C^{2n-1}(\bar{D}; C)$ берілсін. Онда

$$\begin{aligned}
 w(z) = & \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \frac{w(\zeta)}{\zeta - z} d\zeta + \sum_{v=1}^{n-1} \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \frac{(\zeta - z)^{v-1} \overline{(\zeta - z)}^v}{(v-1)!v!} \left[\log |\zeta - z|^2 - \right. \\
 & \left. - \sum_{\rho=1}^{v-1} \frac{1}{\rho} - \sum_{\sigma=1}^v \frac{1}{\sigma} \right] (\partial_{\zeta} \partial_{\bar{\zeta}})^v w(\zeta) d\zeta \\
 & + \sum_{v=1}^n \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \frac{|\zeta - z|^{2(v-1)}}{(v-1)!^2} \left[\log |\zeta - z|^2 - 2 \sum_{\rho=1}^{v-1} \frac{1}{\rho} \right] \partial_{\zeta}^{v-1} \partial_{\bar{\zeta}}^v w(\zeta) d\bar{\zeta}
 \end{aligned} \tag{17}$$

Аналитикалық функциялар үшін шекаралық есептер. Шварц-Пуассон формуласына байланысты айтылғандай, бірлік шеңбер жағдайында шекаралық есептерді нақты шешуге болады. Осы себепті осы облыс қарастырылады. Бұл қарастырылып отырған мәселелердің сипаты туралы қажетті ақпарат береді. Аналитикалық функцияларға қатысты ең қарапайым, сондықтан іргелі жағдайлар орын алады.

Шварц шекаралық есебі: w -аналитикалық функцияны бірлік шеңберінде табиғи, яғни шешімі D облысында $w_{\bar{z}} = 0$ қанағаттандырады

$$\operatorname{Re} w = \gamma \text{ on } \partial D, \operatorname{Im} w(0) = c$$

$\gamma \in C(\partial D; R), c \in R$ үшін берілген.

Бұл Шварц есебінің жалғыз шешімі:

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{\zeta + z}{\zeta - z} \frac{d\zeta}{\zeta} + ic \tag{18}$$

Дәлелдемесі Шварц-Пуассон формуласынан шығады [3-4].

Дирихле шекаралық есебі. -аналитикалық функцияны бірлік шеңберінде табиғи, яғни шешімі D облысында $w_{\bar{z}} = 0$ қанағаттандыратын $\gamma \in C(\partial D; C)$

$$w = \gamma \text{ on } \partial D.$$

Бұл Дирихле есебі $|z| < 1$ болғанда ғана шешіледі, яғни егер

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{\bar{z} d\zeta}{1 - \bar{z}\zeta} = 0 \tag{19}$$

болса.

Бұл шешім Коши интегралы үшін жалғыз шешім болып табылады:

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta - z} \tag{20}$$

Нейман шекаралық есебі: w -аналитикалық функцияны бірлік шеңберінде табиғи, яғни шешімі D облысында $w_{\bar{z}} = 0$ қанағаттандыратын $\gamma \in C(\partial D; C)$ және $c \in C$

$$\partial_{\bar{z}} w = 0 \text{ on } \partial D, w(0) = c.$$

Бұл Нейман есебі $|z| < 1$ болғанда ғана шешіледі, яғни егер

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{d\zeta}{(1-\bar{z}\zeta)\zeta} = 0 \quad (21)$$

қанағаттандырса. Онда шешімі келесі түрде беріледі:

$$w(z) = c - \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \log(1-z\bar{\zeta}) \frac{d\zeta}{\zeta}. \quad (22)$$

Робин шекаралық есебі: ∂D - дағы келесі шартты

$$w + \partial_{\nu} w = \gamma \quad (23)$$

қанағаттандыратын D - бірлік шеңберінде аналитикалық функцияны табайық, мұндағы $\gamma \in C(\partial D; \mathbb{C})$ және ν шекараға ∂D нормальдың сыртқы векторы болып табылады. Біздің жағдайда ∂D шекарасындағы (23) шекаралық шарт $w + zw_z = \gamma$ шартын қабылдайтынын ескереміз.

$g := w + zw_z$ жиыны және Дирихле есебінің шешімі

$$D \text{ облысында } g_{\bar{z}} = 0 \quad (24)$$

$$\text{шекарадағы } g = \gamma \quad (25)$$

(19) теоремаға сүйенсек, онда (24), (25) шешімдерінің жалғыз ғана шешімі :

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{\bar{z}d\zeta}{1-\bar{z}\zeta} = 0 \quad (26)$$

барлық $|z| < 1$ үшін және шешімі келесідей:

$$g(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \frac{\gamma(\zeta)}{\zeta - z} d\zeta. \quad (27)$$

D облысында w Тейлордың кенеюі $w(z) = \sum_{k=0}^{\infty} w_k z^k$ болсын. Онда келесідей беріледі

$$\sum_{k=0}^{\infty} (k+1)w_k z^k = \sum_{k=0}^{\infty} \left\{ \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \frac{\gamma(\zeta)}{\zeta^{k+1}} d\zeta \right\} z^k$$

осыдан

$$w_k = \frac{1}{k+1} \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \frac{\gamma(\zeta)}{\zeta^{k+1}} d\zeta$$

және

$$w(z) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{\ln(1-z\bar{\zeta})}{z} d\zeta. \quad (28)$$

Әрі қарай бұл шекаралық есептер Коши-Риманның біртекті емес теңдеуі үшін зерттелетін болады. T операторын қолдана отырып, есептер аналитикалық функцияларға арналған есептерге дейін азаяды. Мұнда Нейман есебі жағдайында қалыпты туынды шекарада орнатылғаны немесе тек $z\partial_z$ функцияға әсер еткені маңызды болады [5-7]

Грин мен Нейманның гармоникалық функциялары және екінші ретті теңдеулерге қатысты шекаралық есептер [8-10].

Грин мен Нейманның гармоникалық функциялары Дирихле мен Нейманның Пуассон теңдеуі үшін шекті есептерін шешудің классикалық құралдары болып табылады. Екеуі де екінші ретті бейнелеу өзгерген кезде өте табиғи түрде пайда болады (16). Бұл формула симметриялы емес. Қос формула

$$w(z) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{d\bar{\zeta}}{\zeta - z} \tag{29}$$

$$-\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w_{\zeta}(\zeta) \log |\zeta - z|^2 d\zeta + \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log |\zeta - z|^2 d\xi d\eta$$

(16) және (30) формулалардың біріктірілуі симметриялық түрлендіру болып келеді. Бірақ бұл тиісті шекаралық есептерді шешуге әкелетін талапқа сәйкес келмейді. Мотивация ретінде бірлік шеңберінде гармоникалық функцияның қарапайым жағдайы, яғни $w_{z\bar{z}} = 0$, шешімі қарастырылады.

∂D шекарасында D бірлік шеңберіндегі гармониялық функциялар үшін қосулы Дирихле есебі тек тривиальды түрде шешіледі.

Дәлелдеуі: w_z функция $w_{z\bar{z}} = 0$, аналитикалық болсын. w_z аналитикалық функциялармен біріктірілуін $w = \varphi + \bar{\psi}$ көрсетеді, φ және ψ . Жалпы $\psi(0) = 0$ жоғалтпай қабылдауға болады. $\varphi = -\bar{\psi}$ шекаралық шарттан ∂D төмендегіде көрсетілген:

$$0 = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \overline{\psi(\zeta)} \frac{\bar{z}d\zeta}{1 - z\zeta} =$$

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \overline{\psi(\zeta)} \frac{d\zeta}{\zeta - z} - \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \psi(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = \overline{\psi(z)} - \overline{\psi(0)} = \overline{\psi(z)}.$$

Демек D облысында ψ және φ жойылып кетеді, яғни w солай болады.

Бұл дәлелдеу ешқандай максималды принципті қажет етпейді. Пуассон леммасы $w_{z\bar{z}} = f$ теңдеуі үшін Дирихле есебі бірегей берілгенін көрсетеді. Демек, Дирихле есебіне қатысты арналған формуласын алу үшін бірінші ретті туындылары бар ((16)) және ((30)) терминдерінен аулақ болу керек. Бұл әдіс шеңбердің нақты жағдайында жасалады. Гаусс теоремасы негізінде

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w_{\zeta}(\zeta) \log |\zeta - z|^2 d\bar{\zeta} = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w_{\zeta}(\zeta) \log |1 - z\bar{\zeta}|^2 d\bar{\zeta} =$$

$$= -\frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log |1 - z\bar{\zeta}|^2 d\xi d\eta + \frac{1}{\pi} \int_D w_{\bar{\zeta}}(\zeta) \frac{\bar{z}}{1 - \bar{z}\zeta} d\xi d\eta$$

және

$$\frac{1}{\pi} \int_D w_{\bar{\zeta}}(\zeta) \frac{\bar{z}}{1 - \bar{z}\zeta} d\xi d\eta = \frac{1}{\pi} \int_{\partial D} \left(\frac{\bar{z}w(\zeta)}{1 - \bar{z}\zeta} \right) d\xi d\eta = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \frac{\bar{z}w(\zeta)}{1 - \bar{z}\zeta} d\zeta$$

Мұны (16) формулаға қойсақ, онда

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \left(\frac{\zeta}{\zeta - z} + \frac{\bar{\zeta}}{\zeta - z} - 1 \right) \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log \left| \frac{1 - z\bar{\zeta}}{\zeta - z} \right|^2 d\xi d\eta. \quad (30)$$

Функция

$$G_1(z, \zeta) = \log \left| \frac{1 - z\bar{\zeta}}{\zeta - z} \right|^2$$

шенбер үшін Грин функциясы деп аталады. Ол екі айнымалы $z = \zeta$ үшін де гармониялық болып табылады және бір айнымалы үшін шекарада жоғалады. Пуассон ядросы шекаралық интегралда көрінетіндіктен (30) Дирихле есебінің шешімдеріне әкеледі.

Бірлік шенберіндегі Пуассон теңдеуі үшін Дирихле есебі

$$w_{\bar{z}\bar{z}} = f \text{ in } D, \varphi = \gamma \text{ on } \partial D, f \in L_1(D; C), \gamma \in C(\partial D; C),$$

бірегей түрде шешіледі:

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \gamma(\zeta) \left(\frac{\zeta}{\zeta - z} + \frac{\bar{\zeta}}{\zeta - z} - 1 \right) \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D f(\zeta) G_1(z, \zeta) d\xi d\eta. \quad (31)$$

Нейман шекаралық шартына қатысты (9)-ны өзгерту үшін Гаусс теоремасы келесідей көрсетіледі:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w_{\zeta}(\zeta) \log |\zeta - z|^2 d\zeta &= \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w_{\zeta}(\zeta) \log |1 - z\bar{\zeta}|^2 d\zeta = \\ \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log |1 - z\bar{\zeta}|^2 d\xi d\eta - \frac{1}{\pi} \int_{\partial D} \left[w(\zeta) \frac{z}{1 - z\bar{\zeta}} \right] d\xi d\eta &= \\ \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log |1 - z\bar{\zeta}|^2 d\xi d\eta + \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \frac{zw(\zeta)}{1 - z\bar{\zeta}} d\bar{\zeta} &= \\ \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log |1 - z\bar{\zeta}|^2 d\xi d\eta - \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{z}{\zeta - z} \frac{d\zeta}{\zeta}. \end{aligned}$$

Мұны (9)-формуласымен біріктірсек, онда

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} (\zeta w_\zeta(\zeta) + \bar{\zeta} w_{\bar{\zeta}}(\zeta)) \log |\zeta - z|^2 \frac{d\zeta}{\zeta} + \frac{1}{\pi} \int_D w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log |(\zeta - z)(1 - z\bar{\zeta})|^2 d\xi d\eta. \tag{32}$$

Мұнда w -ның нормаль туындысы екінші мүшесінде пайда болады

$$N_1(z, \zeta) = -\log |(\zeta - z)(1 - z\bar{\zeta})|^2$$

және бірлік шеңберінің теріс екінші ретті Нейман функциясы деп аталады. Грин функциясы $z \notin \zeta$ функция ретінде ол сипаттамалық логарифмдік сингулярлықпен бірге екі айнымалыда да гармониялық болады. Оның шекарадағы қалыпты туындысы, айталық, $z \in D$

$$(\zeta \partial_\zeta + \bar{\zeta} \partial_{\bar{\zeta}}) N_1(z, \zeta) = -\frac{\zeta}{\zeta - z} + \frac{\bar{z}\zeta}{1 - \bar{z}\zeta} - \frac{\bar{\zeta}}{\zeta - z} + \frac{z\bar{\zeta}}{1 - z\bar{\zeta}} = -2.$$

Қалыпты шарты

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} N_1(z, \zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = -\frac{1}{\pi i} \int_{\partial D} \log |1 - z\bar{\zeta}|^2 \frac{d\zeta}{\zeta} = 0.$$

Бірлік шеңберіндегі Пуассон тендеуі үшін шекаралық есептің

$$w_{z\bar{z}} = f \text{ in } D, w = \gamma_0, w_z = \gamma_1 \text{ on } \partial D,$$

егер $f \in L_p(D; C), 2 < p, \gamma_0, \gamma_1 \in C(\partial D; C)$

жалғыз ғана шешімі бар:

$$\begin{aligned} & -\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_0(\zeta) \frac{z d\bar{\zeta}}{1 - z\bar{\zeta}} + \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_1(\zeta) \log(1 - z\bar{\zeta}) d\zeta \\ & = \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \log(1 - z\bar{\zeta}) d\xi d\eta \end{aligned} \tag{33}$$

және

$$\frac{\bar{z}}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_1(\zeta) \frac{d\zeta}{1 - \bar{z}\zeta} = \frac{\bar{z}}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{1 - \bar{z}\zeta}. \tag{34}$$

Осыдан, шешімі мына түрде табылады

$$\begin{aligned} w(z) = & -\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_0(\zeta) \frac{d\bar{\zeta}}{\zeta - z} - \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_1(\zeta) \log(1 - z\bar{\zeta}) d\zeta \\ & + \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) (\log |\zeta - z|^2 - \log(1 - \bar{z}\zeta)) d\xi d\eta. \end{aligned} \tag{35}$$

Дәлелдеуі: $w_z = \omega$, $\omega_{\bar{z}} = f$ in D , $w = \gamma_0$, $\omega = \gamma_1$ on ∂D . берілсін, жалғыз ғана шешімі болады, егер

$$-\frac{z}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_0(\zeta) \frac{d\bar{\zeta}}{1-z\bar{\zeta}} = \frac{z}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \omega(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{1-z\bar{\zeta}},$$

$$\frac{z}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_1(\zeta) \frac{d\zeta}{1-z\bar{\zeta}} = \frac{\bar{z}}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{1-z\bar{\zeta}}.$$

онда шешімі

$$w(z) = -\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_0(\zeta) \frac{d\bar{\zeta}}{\zeta-z} - \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \omega(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{\zeta-z},$$

$$\omega(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_1(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta-z} - \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{\zeta-z}.$$

ω -ны бірінші шартқа қойсақ

$$\frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \omega(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{1-z\bar{\zeta}} = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_1(\tilde{\zeta}) \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \frac{d\xi d\eta}{(\tilde{\zeta}-\zeta)(1-z\bar{\zeta})} d\tilde{\zeta}$$

$$-\frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\tilde{\zeta}) \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \frac{d\xi d\eta}{(\tilde{\zeta}-\zeta)(1-z\bar{\zeta})} d\tilde{\zeta} d\tilde{\eta}$$

және

$$-\frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \frac{z d\xi d\eta}{(\zeta-\tilde{\zeta})(1-z\bar{\zeta})} = -\log(1-z\bar{\zeta}) - \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \log(1-z\bar{\zeta}) \frac{d\zeta}{\zeta-\tilde{\zeta}}$$

$$= -\log(1-z\bar{\zeta}) + \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \frac{\log(1-z\bar{\zeta})}{1-\tilde{\zeta}\bar{\zeta}} \frac{d\zeta}{\zeta}$$

$$= -\log(1-z\bar{\zeta}).$$

w және ω (35) үшін екі интегралды формула шығады:

$$-\frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \omega(\zeta) \frac{d\xi d\eta}{\zeta-z} = -\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma_1(\tilde{\zeta}) \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \frac{d\xi d\eta}{(\tilde{\zeta}-\zeta)(\zeta-z)} d\tilde{\zeta}$$

$$+\frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\tilde{\zeta}) \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \frac{d\xi d\eta}{(\tilde{\zeta}-\zeta)(\zeta-z)} d\tilde{\zeta} d\tilde{\eta},$$

мұнда

$$\frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} \frac{d\xi d\eta}{(\zeta-z)(\zeta-\tilde{\zeta})} = \log|\tilde{\zeta}-z|^2 - \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \log|\zeta-z|^2 \frac{d\zeta}{\zeta-\tilde{\zeta}},$$

$$\begin{aligned} & \log |\tilde{\zeta} - z|^2 - \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \log(1 - \bar{z}\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta - \tilde{\zeta}} \\ & + \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \log(1 - \bar{z}\zeta) \frac{d\bar{\zeta}}{\bar{\zeta}(1 - \tilde{z}\bar{\zeta})} \\ & = \log |\zeta - z|^2 - \log(1 - \bar{z}\tilde{\zeta}). \end{aligned}$$

Осыған ұқсас есепті қарастырсақ:

$$w_{z\bar{z}} = f \text{ in } D, w = \gamma_0, w_{\bar{z}} = \gamma_1 \text{ on } \partial D$$

$f \in L_1(D; C), \gamma_0, \gamma_1 \in C(\partial D; C)$ көмегімен шешуге болады.

$$\begin{aligned} w(z) &= \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} w(\zeta) \left(\frac{\zeta}{\zeta - z} + \frac{\bar{\zeta}}{\bar{\zeta} - \bar{z}} - 1 \right) - \\ & - \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} w_{\zeta\bar{\zeta}}(\zeta) \log \left| \frac{1 - z\bar{\zeta}}{\zeta - z} \right|^2 d\xi d\eta \end{aligned}$$

Дирихле есебі жағдайында формуламен орындалғандай, интегралдық түрлендірулер әрқашан байланысы бар шекаралық есептерді шешу үшін ғана пайдалана бермейді.

Егер ∂D да $\partial_\nu w = \gamma$ – қанағаттандырылса және нормаль w кезінде $w_{z\bar{z}} = f$ болса, онда Пуассон теңдеуінің шешімі

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c$$

болады және де f және γ қасиеттері үшін келесідей болады:

$$\begin{aligned} w(z) &= c - \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \log |\zeta - z|^2 \frac{d\zeta}{\zeta} \\ & + \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \log |(\zeta - z)(1 - z\bar{\zeta})|^2 d\xi d\eta. \end{aligned} \tag{36}$$

Бірақ бұл формула әрқашан $w_{z\bar{z}} = f$ шешімді қамтамасыз етсе де, тиісті шекаралық сипаттаманы қанағаттандырмайды. Мұндай сипаттама Коши интегралынан да көрінеді.

Бірлік шеңберіндегі Пуассон теңдеуі үшін Нейман есебі

$$w_{z\bar{z}} = f \text{ in } D, \partial_\nu w = \gamma \text{ on } \partial D, \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c, \tag{37}$$

$f \in L_1(D; C), \gamma \in C(\partial D; C), c \in C$ болса ғана шешіледі

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = \frac{2}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) d\xi d\eta. \quad (38)$$

(36) –да жалғыз ғана шешімі беріледі.

Дәлелдеуі: Нейман функциясы Лаплас операторының іргелі шешімі, ал шекаралық интеграл гармоникалық функция болғандықтан (37) Пуассон теңдеуінің шешімін береді. Шекаралық сипаттаманы тексеру үшін бірінші ретті туындыларды қарастыру керек. Олар

$$w_z(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{d\zeta}{(\zeta-z)\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \left(\frac{1}{\zeta-z} + \frac{\bar{\zeta}}{1-z\bar{\zeta}} \right) d\xi d\eta,$$

$$w_{\bar{z}}(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{d\zeta}{(\zeta-z\bar{\zeta})} - \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \left(\frac{1}{\zeta-z} + \frac{\zeta}{1-\bar{z}\zeta} \right) d\xi d\eta,$$

сондай-ақ

$$\begin{aligned} \partial_v w(z) &= \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \left(\frac{\zeta}{\zeta-z} + \frac{\bar{z}}{\zeta-z} - 1 \right) \frac{d\zeta}{\zeta} \\ &- \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \left[\frac{z}{\zeta-z} + \frac{\bar{z}}{\zeta-z} + \frac{z\bar{\zeta}}{1-z\bar{\zeta}} + \frac{\bar{z}\zeta}{1-\bar{z}\zeta} \right] d\xi d\eta \\ &= \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \left(\frac{\zeta}{\zeta-z} + \frac{\bar{z}}{\zeta-z} - 2 \right) \frac{d\zeta}{\zeta} \\ &+ \frac{1}{\pi} \int_{|\zeta|<1} f(\zeta) \left[2 - \frac{z}{\zeta-z} - \frac{\bar{z}}{\zeta-z} - \frac{1}{1-z\bar{\zeta}} - \frac{1}{1-\bar{z}\zeta} \right] d\xi d\eta \end{aligned}$$

Ол $|z|=1$ үшін Пуассон ядросының қасиеті пайдаланылады

$$\partial_v w(z) = \gamma(z) - \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \gamma(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} + \frac{2}{\pi} \int_{|\zeta|=1} f(\zeta) d\xi d\eta.$$

Сондықтан (37) есебі $\partial_v w = \gamma$, $|z|=1$ жағдайда ғана орындалады. Соңында нормальға келтіру шартын тексеру керек. Ол $|z|=1$ үшін және $|\zeta-z|=|1-z\bar{\zeta}|$ дегеннен шығады

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi i} \int_{|z|=1} \log|1-z\bar{\zeta}|^2 \frac{dz}{z} &= \frac{1}{2\pi i} \int_{|z|=1} \log(1-z\bar{\zeta}) \frac{dz}{z} - \\ &- \frac{1}{2\pi i} \int_{|z|=1} \log(1-\bar{z}\zeta) \frac{d\bar{z}}{\bar{z}} = 0. \end{aligned}$$

Алынған нәтижелер:

Теорема: үш-гармониялық Дирихле мәселесі

$$(\partial_z \partial_{\bar{z}})^3 w = f \text{ in } D, w = \gamma_0, \partial_z \partial_{\bar{z}} w = \gamma_1, (\partial_z \partial_{\bar{z}})^2 w = \gamma_2 \text{ on } \partial D.$$

$f \in L_p(D; C), 2 < p, \gamma_0, \gamma_1, \gamma_2 \in C(\partial D; C)$ арқылы бірегей түрде шешіледі

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \left[g_1(z, \zeta) \gamma_0(\zeta) + \hat{g}_2(z, \zeta) \gamma_1(\zeta) + \hat{g}_3(z, \zeta) \gamma_2(\zeta) \right] \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D \hat{G}_3(z, \zeta) f(\zeta) d\xi d\eta. \tag{39}$$

Мұндағы

$$\begin{aligned} \hat{g}_3(z, \zeta) &= -\frac{1}{\pi} \int_D G_1(z, \tilde{\zeta}) \hat{g}_2(\tilde{\zeta}, \zeta) d\tilde{\xi} d\tilde{\eta} \\ &= (1 - |z|^2) \left[\sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k^2} \left((z\bar{\zeta})^{k-1} + (\bar{z}\zeta)^{k-1} \right) + 1 \right] - \\ &\quad - \frac{1 - |z|^4}{2} \left[\sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k(k+1)} \left((z\bar{\zeta})^{k-1} + (\bar{z}\zeta)^{k-1} \right) + \frac{1}{2} \right] \end{aligned}$$

түріндей болады (16)

$$\begin{aligned} \partial_z \partial_{\bar{z}} \hat{g}_3(z, \zeta) &= -\frac{1}{2} \partial_{v_\zeta} \partial_z \partial_{\bar{z}} \hat{G}_3(z, \zeta) = -\frac{1}{2} \partial_{v_\zeta} \hat{G}_2(z, \zeta) = \hat{g}_2(z, \zeta) \text{ for } z, \zeta \in D, \\ \hat{g}_3(z, \zeta) &= 0 \text{ for } z \in \partial D, \zeta \in D. \end{aligned}$$

Дәлелдеуі: есепті жүйелерге бөліп қарастырамыз:

$$\partial_z \partial_{\bar{z}} w = \omega \text{ in } D, w = \gamma_0 \text{ on } \partial D,$$

$$(\partial_z \partial_{\bar{z}})^2 \omega = f \text{ in } D, \omega = \gamma_1, \omega_{z\bar{z}} = \gamma_2 \text{ on } \partial D,$$

бұл жүйенің бір шешімі бар

$$w(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} g_1(z, \zeta) \gamma_0(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D G_1(z, \tilde{\zeta}) \omega(\tilde{\zeta}) d\tilde{\xi} d\tilde{\eta}$$

$$\omega(\tilde{\zeta}) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \left(g_1(\tilde{\zeta}, \zeta) \gamma_1(\zeta) + \hat{g}_2(\tilde{\zeta}, \zeta) \gamma_2(\zeta) \right) \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D G_2(\tilde{\zeta}, \zeta) f(\zeta) d\xi d\eta$$

w формулаға ω -ны қойсақ, онда (39) шығады.

Пуассон формуласының сипаттамасынан \hat{g}_2, \hat{g}_3 және $\hat{G}_3 |z|=1$ болған жағдайда жойылып кетеді

$$\lim_{z \rightarrow \zeta} w(z) = \gamma_0(\zeta)$$

$|\zeta|=1$ келесі үшін. Лаплас операторын пайдаланамыз, онда

$$w_{z\bar{z}}(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \left\{ g_1(z, \zeta) \gamma_1(\zeta) + \hat{g}_2(z, \zeta) \gamma_2(\zeta) \right\} \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D \hat{G}_2(z, \zeta) f(\zeta) d\xi d\eta$$

алдыңдағыдай

$$\lim_{z \rightarrow \zeta} w_{z\bar{z}}(z) = \gamma_1(\zeta)$$

шығады және одан

$$w_{z\bar{z}\bar{z}}(z) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} g_1(z, \zeta) \gamma_2(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D G_1(z, \zeta) f(\zeta) d\xi d\eta$$

$$\lim_{z \rightarrow \zeta} w_{z\bar{z}\bar{z}}(z) = \gamma_2(\zeta)$$

Сонымен қатар, $(\partial_z \partial_{\bar{z}})^3 w = f$ соңында G_1 қасиеттерінен көрінеді.

Теорема: үш-гармониялық Нейман есебі [11]

$$(\partial_z \partial_{\bar{z}})^3 w = f \text{ in } D, f \in L_p(D; C), 2 < p < +\infty,$$

$$\partial_\nu w = \gamma_0, \partial_\nu \partial_z \partial_{\bar{z}} w = \gamma_1, \partial_\nu (\partial_z \partial_{\bar{z}})^2 w = \gamma_2 \text{ on } \partial D, \gamma_0, \gamma_1, \gamma_2 \in C(\partial D; C),$$

қанағаттандыратын

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c_0, \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} \partial_z \partial_{\bar{z}} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c_1, \frac{1}{2\pi i} \int_{|\zeta|=1} (\partial_z \partial_{\bar{z}})^2 w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c_2$$

жалғыз шешімі тек сонда ғана болады, егер

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \gamma_0(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = 2c_1 - c_2 - \frac{1}{16\pi i} \int_{\partial D} \gamma_2(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} + \frac{1}{\pi} \int_D \left((1-|\zeta|^2)^2 - \frac{1}{2} \right) f(\zeta) d\xi d\eta,$$

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \gamma_1(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c_1 - 2c_2 - \frac{2}{\pi} \int_D (1-|\zeta|^2) f(\zeta) d\xi d\eta$$

және

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \gamma_2(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = \frac{2}{\pi} \int_D f(\zeta) d\xi d\eta$$

Шешімі мына түрде алынды:

$$w(z) = c_0 - c_1(1-|z|^2) - c_2 \left(\frac{1}{4}(1-|z|^2)^2 + \frac{1}{2}(1-|z|^2) \right) + \frac{1}{4\pi i} \int_{\partial D} \{ N_1(z, \zeta) \gamma_0(\zeta) +$$

$$+ N_2(z, \zeta) \gamma_1(\zeta) + N_3(z, \zeta) \gamma_2(\zeta) \left. \right\} \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi_D} \int_D f(\zeta) N_3(z, \zeta) d\xi d\eta$$

Дәлелдеуі: Нейман-3 есебін жүйе ретінде қарастырамыз:

$$(\partial_z \partial_{\bar{z}})^2 w = \omega \text{ in } D, \partial_{\nu} w = \gamma_0, \partial_{\nu} \partial_z \partial_{\bar{z}} w = \gamma_1 \text{ on } \partial D,$$

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c_0, \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \partial_{\zeta} \partial_{\bar{\zeta}} w(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c_1$$

және

$$\partial_z \partial_{\bar{z}} \omega = f \text{ in } D, \partial_{\nu} \omega = \gamma_2 \text{ on } \partial D, \frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \omega(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = c_2$$

шешуші жағдайларға әкеледі

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \gamma_0(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = 2c_1 - \frac{2}{\pi} \int_D (1 - |\zeta|^2) \omega(\zeta) d\xi d\eta \tag{40}$$

және

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \gamma_1(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = \frac{2}{\pi} \int_D \omega(\zeta) d\xi d\eta \tag{41}$$

Сонда шешімі

$$w(z) = c_0 - (1 - |z|^2) c_1 + \frac{1}{4\pi i} \int_{\partial D} \{ \gamma_0(\zeta) N_1(z, \zeta) + \gamma_1(\zeta) N_2(z, \zeta) \} \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D \omega(\zeta) N_2(z, \zeta) d\xi d\eta \tag{42}$$

$$\omega(\zeta) = c_2 + \frac{1}{4\pi i} \int_{\partial D} \gamma_2(\tilde{\zeta}) N_1(\zeta, \tilde{\zeta}) \frac{d\tilde{\zeta}}{\tilde{\zeta}} - \frac{1}{\pi} \int_D N_1(\zeta, \tilde{\zeta}) f(\tilde{\zeta}) d\tilde{\xi} d\tilde{\eta}$$

ω -ны (40) шартына қойсақ, онда

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{\partial D} \gamma_0(\zeta) \frac{d\zeta}{\zeta} = 2c_1 - \frac{1}{\pi} \int_D (1 - |\zeta|^2) \left\{ c_2 + \frac{1}{4\pi i} \int_{\partial D} \gamma_2(\tilde{\zeta}) N_1(\zeta, \tilde{\zeta}) \frac{d\tilde{\zeta}}{\tilde{\zeta}} - \frac{1}{\pi} \int_D N_1(\zeta, \tilde{\zeta}) f(\tilde{\zeta}) d\tilde{\xi} d\tilde{\eta} \right\} d\xi d\eta$$

және де

$$\frac{1}{\pi} \int_D (1 - |\zeta|^2) N_1(\zeta, \tilde{\zeta}) d\xi d\eta = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{2} |\zeta|^2 \right)^2 - \frac{1}{4}.$$

Содан кейін ω - ны (42)-ке қоямыз

$$\begin{aligned}
 w(z) = & c_0 - (1 - |z|^2)c_1 - c_2 \left(\frac{1}{\pi} \int_D N_2(z, \zeta) d\xi d\eta \right) + \frac{1}{4\pi i} \int_{\partial D} \{ \gamma_0(\zeta) N_1(z, \zeta) + \\
 & + \gamma_1(\zeta) N_2(z, \zeta) \} \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{4\pi i} \int_{\partial D} \gamma_2(\tilde{\zeta}) \frac{1}{\pi} \int_D N_1(\zeta, \tilde{\zeta}) N_2(z, \tilde{\zeta}) d\xi d\eta \frac{d\zeta}{\zeta} + \\
 & + \frac{1}{\pi} \int_D f(\tilde{\zeta}) \frac{1}{\pi} \int_D N_1(\zeta, \tilde{\zeta}) N_2(z, \zeta) d\xi d\eta d\tilde{\zeta} d\tilde{\eta}
 \end{aligned}$$

Осыдан, келесі шешімді аламыз:

$$\begin{aligned}
 w(z) = & c_0 - c_1(1 - |z|^2) - c_2 \left(\frac{1}{4}(1 - |z|^2)^2 + \frac{1}{2}(1 - |z|^2) \right) + \frac{1}{4\pi i} \int_{\partial D} \{ N_1(z, \zeta) \gamma_0 + \\
 & + N_2(z, \zeta) \gamma_1(\zeta) + N_3(z, \zeta) \gamma_2(\zeta) \} \frac{d\zeta}{\zeta} - \frac{1}{\pi} \int_D f(\zeta) N_3(z, \zeta) d\xi d\eta.
 \end{aligned}$$

Қорытынды: физикалық табиғаты әртүрлі стационарлық процестерді зерттеген жағдайда эллипстік типті теңдеулер шығады. Бұл типті теңдеулердің ішіндегі ең көп тарағаны – Лаплас теңдеуі. Лаплас теңдеуін қанағаттандыратын гармониялық Грин функциясымен шекаралық есептерді шешуге болады. Мақалада алынған нәтижелер электромагниттік өрістің потенциалын, денеге температураның стационарлық үлестірілуін есептеуде пайдалануға болады.

ӘДЕБИЕТ

- 1 E.Almansi, Sull'integrazione dell'equazione differenziale $\Delta_{2n} = 0$ Ann. Mat.(3)2(1899), 1-59.
- 2 H.Begehr, Dirichlet problems for the biharmonic equation. Gen. Math. 13(2005), 65-72.
- 3 H.Begehr, A.Mohammed, The Schwarz problem for analytic functions in torus related domains. Appl. Anal. 85(2006), 1079-1101.
- 4 H.Begehr, D.Schmersau, The Schwarz problem for polyanalytic function. ZAA 24(2005), 341-351.
- 5 H.Begehr, C.J.Vanegas, Iterated Neumann problem for the higher order Poisson equation. Math. Nachr. 279(2006), 38- 57.
- 6 H.Begehr, T.N.H.Vu, Z.-X.Zhang, Polyharmonic Dirichlet problems. Proc. Steklov Inst. Math.255(2006), 13-34.
- 7 H.Begehr, Boundary value problems for complex Poisson equation. Proc. Intern. Conf. Anal. Appl. Nanjing, 2004.
- 8 H.Begehr, Six biharmonic Dirichlet problems in complex analysis. Function spaces in complex and Clifford analysis. Proc. 14th Intern. Conf. Finite Infinite Dimensional Complex Anal. Appl., Hue, Vietnam. Eds. Son Le Hung et al. National University Publishers, Hanoi, 2008, 243-25
- 9 H.Begehr, T.Vaitekhovich. Some harmonic Robin functions in the complex plane. Adv. Pure Appl. Math. 1(2009), 1-13.
- 10 H.Begehr, Boundary value problems for complex Poisson equation. Proc. Intern. Conf. Anal. Appl. Nanjing, 2004.
- 11 S.Burgumbayeva, The tri-harmonic Neumann problem. Bulletin of the Karaganda University, Mathematics series. №4(92)/2018. – P.29-37.

PREFERENCES

- 1 E.Almansi, Sull'integrazione dell'equazione differenziale $\Delta_{2n} = 0$ Ann. Mat.(3)2(1899), 1-59.
- 2 H.Begehr, Dirichlet problems for the biharmonic equation. Gen. Math. 13(2005), 65-72.
- 3 H.Begehr, A.Mohammed, The Schwarz problem for analytic functions in torus related domains. Appl. Anal. 85(2006), 1079-1101.
- 4 H.Begehr, D.Schmersau, The Schwarz problem for polyanalytic function. ZAA 24(2005), 341-351.
- 5 H.Begehr, C.J.Vanegas, Iterated Neumann problem for the higher order Poisson equation. Math. Nachr. 279(2006), 38- 57.
- 6 H.Begehr, T.N.H.Vu, Z.-X.Zhang, Polyharmonic Dirichlet problems. Proc. Steklov Inst. Math.255(2006), 13-34.
- 7 H.Begehr, Boundary value problems for complex Poisson equation. Proc. Intern. Conf. Anal. Appl. Nanjing, 2004.
- 8 H.Begehr, Six biharmonic Dirichlet problems in complex analysis. Function spaces in complex and Clifford analysis. Proc. 14th Intern. Conf. Finite Infinite Dimensional Complex Anal. Appl., Hue, Vietnam. Eds. Son Le Hung et al. National University Publishers, Hanoi, 2008, 243-25
- 9.H.Begehr, T.Vaitekhovich. Some harmonic Robin functions in the complex plane. Adv. Pure Appl. Math. 1(2009), 1- 13.
- 10 H.Begehr, Boundary value problems for complex Poisson equation. Proc. Intern. Conf. Anal. Appl. Nanjing, 2004.
- 11 S.Burgumbayeva, The tri-harmonic Neumann problem. Bulletin of the Karaganda University, Mathematics series. №4(92)/2018. –P.29-37.

**E. S. VITULYOVA¹*, K. N. KADYRZHAN², A. B. KADYRZHAN²,
D. B. SHALTYKOVA³, I. E. SULEIMENOV³**

¹*al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;*

²*Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after Gumarbek Daukeev, Almaty, Kazakhstan;*

³*National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan.*

*e-mail: *Lizavita@list.ru*

DIAGNOSTICS OF SUBSURFACE OBJECTS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES: USING GENERALIZED FOURIER OPTICS METHODS

It is shown that there is a variety of subsurface objects, the diagnosis of which can be reduced to establishing the shape of the interfaces between media with different refractive indices. An example of this kind of objects are man-made structures created to conduct painful actions, in particular, dugouts, underground tunnel systems, etc. It is shown that the surfaces inherent in such objects can be represented through equivalent circuits built on the basis of a set of paraboloids. It is proven that the characteristics of each of these paraboloids can be determined empirically through the use of analogues of optical systems operating in the radio range. These schemes are aimed at empirically determining the focal length of individual paraboloids included in the equivalent surface scheme by scanning the tunable focal length of the diagnostic system (in the simplest case, a diagnostic lens). It is shown that the application of this approach is closely related to the establishment of singular points of the wave front (singular points of the caustic), which are identified by methods of generalized Fourier optics using the stationary phase method. It is shown that with this approach, the identification of paraboloids that make up the equivalent optical scheme of the surface under study becomes unambiguous.

Key words: *subsurface objects, radio holography, generalized Fourier optics, focal length, scanning, equivalent circuit, unmanned aerial vehicles.*

**E. С. ВИТУЛЁВА¹*, Қ. Н. ҚАДЫРЖАН², А. Б. ҚАДЫРЖАН²,
Д. Б. ШАЛТЫКОВА³, И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ³**

¹*әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;*

²*Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы, Қазақстан;*

³*Қазақстан Республикасының Ұлттық инженерлік академиясы, Алматы, Қазақстан.*

*e-mail: *Lizavita@list.ru*

ҰШҚЫШСЫЗ ҰШАТЫН АППАРАТТАРДЫҢ КӨМЕГІМЕН БЕТКІ ҚАБАТ АСТЫНДАҒЫ ОБЪЕКТІЛЕРДІ ДИАГНОСТИКАЛАУ: ЖАЛПЫЛАМА ФУРЬЕ ОПТИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

Диагнозды әртүрлі сыну көрсеткіштері бар орталар арасындағы интерфейстердің пішінін орнатуға дейін азайтуға болатын жер қойнауының әртүрлі объектілері бар екендігі көрсетілген. Мұндай объектілердің мысалы ретінде ұрыс қимылдары үшін жасалған жасанды құрылыстар, атап айтқанда, блиндаждар, жерасты туннельдік жүйелері және т.б. Мұндай объектілерге тән беттерді параболоидтар жиынтығы негізінде салынған эквивалентті схемалар арқылы көрсетуге

болатыны көрсетілген. Осы параболоидтардың әрқайсысының сипаттамаларын радио диапазонында жұмыс істейтін оптикалық жүйелердің аналогтарын қолдану арқылы эмпирикалық түрде анықтауға болатыны дәлелденді. Бұл сұлбалар диагностикалық жүйенің (ең қарапайым жағдайда диагностикалық линза) реттелетін фокустық арақашықтықты сканерлеу арқылы эквивалентті беттік схемаға енгізілген жеке параболоидтардың фокустық аралығын эмпирикалық түрде анықтауға бағытталған. Бұл тәсілді қолдану стационарлық фазалық әдісті қолдану арқылы жалпыланған Фурье оптикасының әдістерімен анықталатын толқындық фронттың ерекше нүктелерін (каустиканың ерекше нүктелерін) орнатумен тығыз байланысты екендігі көрсетілген. Бұл тәсілмен зерттелетін беттің эквивалентті оптикалық сұлбасын құрайтын параболоидтарды анықтау бір мағыналы болатыны көрсетілген.

Түйін сөздер: беткі қабат астындағы объектілер, радиоголография, жалпылама Фурье оптикасы, фокустық қашықтық, сканерлеу, эквиваленттік схема, ұшқышсыз ұшу аппараттары.

**Е. С. ВИТУЛЁВА^{1*}, К. Н. КАДЫРЖАН², А. Б. КАДЫРЖАН²,
Д. Б. ШАЛТЫКОВА³, И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ³**

¹Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

²Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева,
Алматы, Казахстан;

³Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан.
e-mail: *Lizavita@list.ru

ДИАГНОСТИКА ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБОБЩЕННОЙ ФУРЬЕ-ОПТИКИ

Показано, что существует разновидность подповерхностных объектов, диагностика которых может быть сведена к установлению формы границ раздела сред, обладающих различными коэффициентами преломления. Примером такого рода объектов являются рукотворные сооружения, создаваемые для ведения боевых действий, в частности, блиндажи, системы подземных тоннелей и т.д. Показано, что поверхности, присущие такому роду объектам, могут быть представлены через эквивалентные схемы, построенные на основе совокупности параболоидов. Доказывается, что характеристики каждого из таких параболоидов могут быть определены эмпирически за счет использования аналогов оптических систем, функционирующих в радиодиапазоне. Данные схемы ориентированы на эмпирическое определение фокусного расстояния отдельных параболоидов, входящих в состав эквивалентной схемы поверхности, за счет сканирования перестраиваемого фокусного расстояния диагностирующей системы (в простейшем случае – диагностирующей линзы). Показано, что применение данного подхода тесным образом связано с установлением особых точек волнового фронта (особых точек каустики), которые выявляются методами обобщенной Фурье-оптики с использованием метода стационарной фазы. Показано, что при таком подходе выявление параболоидов, составляющих эквивалентную оптическую схему исследуемой поверхности, становится однозначным.

Ключевые слова: подповерхностные объекты, радиоголография, обобщенная Фурье-оптика, фокусное расстояние, сканирование, эквивалентная схема, беспилотные летательные аппараты.

Currently, radio holography methods are being actively developed [1-3], aimed, among other things, at diagnosing subsurface objects [4,5].

Subsurface objects can have different structures, including objects with pronounced boundaries that occupy an important place. This partly relates to ore bodies, but the nature

of the fighting on the territory of Ukraine, as well as the Gaza Strip, shows that remote diagnostics of man-made subsurface objects (underground premises of Azovstal, converted into defensive structures in Mariupol, tunnels built by the Hamas movement in the Gaza Strip) is also of interest Gas, etc.). Such objects obviously have pronounced boundaries, which, in relation to the propagation of radio waves, become phase boundaries at which classical phenomena of refraction of electromagnetic radiation occur. There is no doubt that this fact, among other things, actualizes the creation of groups of UAVs operating as a systemic whole, for which there are general methodological prerequisites [6].

In [7], it was shown that it is possible to synthesize an analogue of optical systems through the use of groups of unmanned aerial vehicles (UAVs). In this case, each of the UAVs performs an operation to introduce a phase shift into the field distribution created when the object under study is irradiated with radio waves (Fig. 1). Taken together, this approach makes it possible to synthesize, for example, an analogue of a lens or other optical system intended for diagnosing a subsurface object. Theoretical justification for the possibility of using a set of groups of discrete wavefront converters instead of elements such as a lens was given in [8], where it was shown that the classical Huygens-Fresnel principle can be reduced to a discrete form. Accordingly, any radiation converter operating in reflection can be represented by the circuit in Fig. 2.

The discrete form of this principle is of particular interest for the radio range. Indeed, from the materials of the cited work it follows that the wave field (provided that inhomogeneous waves characterized by a complex value of the wave vector can be excluded from consideration) can be reconstructed on the basis of amplitudes recorded at discrete points located half the length apart waves. In the case when large-sized subsurface objects are studied, it is advisable to switch to the use of relatively long waves (small-scale inhomogeneities with a characteristic size of the order of several tens of centimeters are most often of no interest). Accordingly, analogues of the lenses mentioned above can be assembled based on groups of UAVs spaced from each other at a distance of several meters or more.

The possibility of synthesizing large-sized lenses based on groups of UAVs, in turn, creates definite advantages for diagnosing subsurface objects with pronounced boundaries.

Proving this statement and demonstrating the possibility of its practical implementation is the goal of this work.

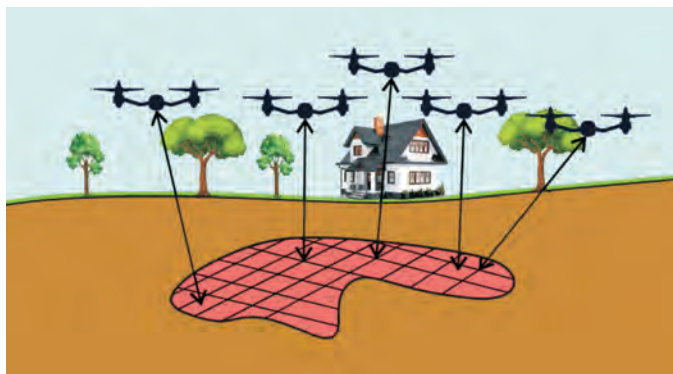


Fig. 1 – Carrying out diagnostics of a subsurface object using a group of UAVs.

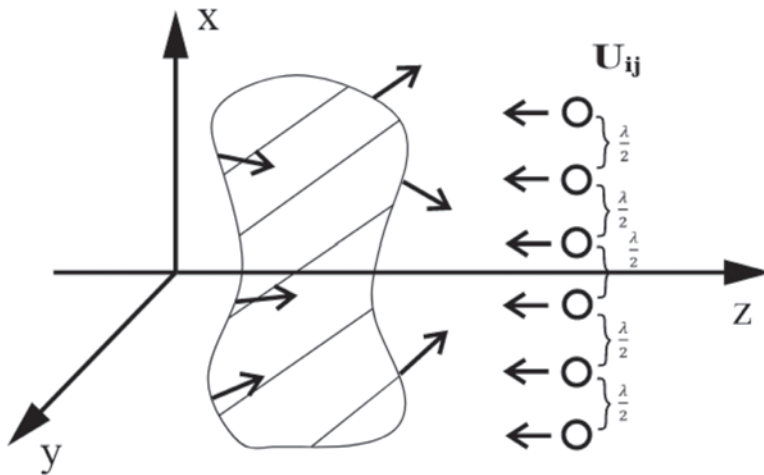


Fig.2 – Circuit of a wave converter operating in reflected radiation (an example of a body with pronounced boundaries).

Starting from Fig. 2, let's consider the situations when radio holographic reconnaissance is used to study objects that have clear boundaries. Examples in this regard are underground structures, ore bodies, oil-bearing layers, etc., as noted above.

The conversion of radio frequency radiation in this case occurs at the interfaces of media with different refractive indices. In the general case, the interaction of a wave oscillation with the interfaces between media is described by the Fresnel formulas, which, among other things, show that as a result of such interaction appearance of reflected waves.

Consequently, from the point of view of radio holography tasks, homogeneous objects of complex shape can be considered as a combination of two reflective surfaces of complex shape.

Reflection from a system containing two mirrors, generally speaking, leads to interference effects associated, among other things, with the phenomenon of multipath interference [9].

If, however, the reflection coefficient remains low, which, as follows from Fresnel's formulas, is a typical situation, then it is permissible to consider reflective surfaces, which can be conditionally divided into "left" and "right" separately.

Consequently, the problem under consideration comes down to the question of studying the geometry of a certain reflecting surface and finding its basic characteristics.

There is, however, an important caveat. The interfaces between media encountered in practice are, as a rule, close to fractal. More precisely, they have inhomogeneities of various scales, and the "smallest" inhomogeneities are often not of interest. This nuance is significant from the point of view of choosing the length of radio waves used for diagnostics.

For a given specific wavelength λ , any inhomogeneities (deviations of the reflecting surface from the plane) can be classified as follows

- large: the characteristic scale of heterogeneity significantly exceeds λ ;
- average: the characteristic scale is comparable to λ ;
- small: the characteristic scale of heterogeneity is significantly less than λ .

Inhomogeneities of the latter type are excluded from consideration due to the choice of wavelength. Under this condition, the wave does not interact with this kind of inhomogeneity.

The choice of wavelength is therefore dictated by the particular scale of inhomogeneities that must be identified and characterized. As will be clear from what follows, the most convenient choice is one in which the characteristic scale of the inhomogeneities of interest significantly exceeds the wavelength. In many ways, this case corresponds to the approximation of geometric optics.

Generalized Fourier optics methods [10,11] make it possible to move from a reflective surface of complex shape to its equivalent scheme shown in Fig. 3; the surface is approximated by a set of paraboloids, which intuitively seems quite natural.



Fig. 3 – Equivalent scheme of a reflective surface of complex shape.

There is, however, an important caveat. The shape of the surface in question is unknown. Approximating paraboloids must be found based on measurement data, which forces one to turn to the use of generalized Fourier optics methods to describe reflection from a surface of complex shape. This description is as follows [10,11].

To the surface S described by the formula,

$$z = z(x, y) \tag{1}$$

a plane wave falls, which, in relation to further considerations, can be conveniently represented as

$$f = \exp\left(ik\left[\alpha x + \beta y - \sqrt{1 - \alpha^2 - \beta^2} z\right]\right) \tag{2}$$

The minus sign for the square root in expression (2) was chosen in accordance with Fig. 2. It is assumed that the incident wave propagates from right to left, and the reflected wave propagates from left to right.

On the plane S , given by relation (1), this wave creates the following field distribution

$$u_{in} = \exp\left(ik\left[\alpha_0 x + \beta_0 y - \sqrt{1 - \alpha_0^2 - \beta_0^2} z(x, y)\right]\right) \tag{3}$$

The difference between notation (2) and formula (3) is that in formula (2) z is a variable, i.e. can take arbitrary values, and in formula (43) z is a function of two other coordinates. Otherwise, function (2) depends on three variables and describes the field distribution in the entire space, and function (3) depends only on two variables and specifies the field distribution on a specific surface. This is what justifies the use of the u_{in} notation for this function.

Reflection within the framework of a scalar description (with polarization effects excluded from consideration) is described through a change in phase by π .

Accordingly, the distribution of the “output” field on the surface under consideration is given by the expression

$$u_{out} = -\exp\left(ik\left[\alpha x + \beta y - \sqrt{1 - \alpha^2 - \beta^2} z(x, y)\right]\right) \tag{4}$$

The difference between formula (4) and formula (3) is that distribution (4) is formed by waves belonging to another branch of the spatial frequency spectrum, i.e. waves propagating in the opposite general direction.

Mathematically, this is expressed in the fact that the spectrum of spatial frequencies of the field distribution u_{out} can be determined through the integral [10,11]

$$A_{out} = -\int \exp(ik\bar{\xi} - \bar{r}) \exp(-ik\bar{\xi} + \bar{r}) dS \tag{5}$$

Where $\bar{\xi} - \bar{r} = \alpha_0 x + \beta_0 y - \sqrt{1 - \alpha_0^2 - \beta_0^2} z(x, y)$;

$$\bar{\xi} + \bar{r} = \alpha x + \beta y + \sqrt{1 - \alpha^2 - \beta^2} z(x, y)$$

For clarity, let us consider the case of the paraxial approximation, when approximately we can set $\sqrt{1 - \alpha^2 - \beta^2} \approx 1$, which is true at small angles. Then

$$A_{out} = -\int \exp(ik[(\alpha_0 - \alpha)x + (\beta_0 - \beta)y - 2z(x, y)]) dx dy \tag{6}$$

It can be seen that this is the Fourier transform of the function of the optical thickness of the mirror, which has the form

$$T_A = -\exp(-ik2z(x, y)) \tag{7}$$

Integral (4) allows the following interpretation. The field distribution corresponding to an individual spectral component is first multiplied by function (7), and then the Fourier transform is calculated, which corresponds to finding the spectrum of spatial frequencies in the approximation of classical (paraxial) Fourier optics.

Let us consider the behavior of integral (5), assuming that the inequality holds

$$a \gg \lambda \tag{8}$$

where a is the characteristic scale of changes in the relief of the reflecting surface.

Then we apply the stationary phase method to integral (5), which consists of the following.

Provided that the parameter k is large, which in the case under consideration physically corresponds to the fulfillment of condition (8), in the integral of the form

$$J = -\int \exp(ikf(x, y)) dx dy \tag{9}$$

the integrand can be replaced by a Taylor series expansion up to quadratic terms in the vicinity of the stationary point. The coordinates of this point (x_0, y_0) are determined from the condition

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial x}(x_0, y_0) = 0 \\ \frac{\partial f}{\partial y}(x_0, y_0) = 0 \end{cases} \tag{10}$$

Accordingly, the integral goes into

$$J = -\int \exp(ik[f(x_0, y_0) + a_{11}x^2 + 2a_{12}xy + a_{22}y^2])dxdy \tag{11}$$

Where $a_{11} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \Big|_{x_0, y_0}$; $a_{12} = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} \Big|_{x_0, y_0}$; $a_{22} = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \Big|_{x_0, y_0}$.

Integral (11) is calculated explicitly. Physically, the meaning of the transition to expansion in the integrand is as follows. Everywhere, except in the vicinity of the stationary point, the integrand is rapidly oscillating. Accordingly, the contribution from the neighborhood of all points except the stationary point can be neglected, since rapidly oscillating vibrations cancel each other out.

Consequently, the stationary phase method allows the calculation of integrals of the type under consideration to solve algebraic equations.

This condition also meets the expression for the distribution of the field of the wave reflected from the surface under consideration. In accordance with the methodology described above, this distribution can be obtained by passing from the spatial frequency spectrum to the field amplitude at point \vec{r}_0 as

$$u_{out}(\vec{r}_0) = -\iint \exp(ik\vec{\xi} - \vec{r}) \exp(-ik\vec{\xi} + \vec{r})dS \exp(ik\vec{\xi} + \vec{r})d\Sigma \tag{12}$$

The stationary phase method is also applicable to this integral, but with the difference that in this case the integration is carried out over four variables.

To move to an equivalent circuit of a reflective surface of complex shape, the most essential, however, is the consideration of degenerate stationary points, which, as shown in [12, 13], correspond to a caustic surface.

As applied to the problem under consideration, the physical meaning of degenerate stationarity points is as follows. Each local segment of a surface other than a plane can be considered as a parabolic/spherical mirror. When a plane wave falls on it, it focuses at a certain point. The set of all such points constitutes a caustic surface. Mathematically, these are degenerate stationary points for which the determinant of the matrix of second partial derivatives vanishes. In this case, one cannot limit oneself to the expansion of the phase function in a Taylor series accurate to quadratic terms, and it is also necessary to take into account terms of higher orders.

Note, however, that the degeneration of stationarity points can be deeper, i.e. the caustic surface [13] has its own singular points.

Physically, such points correspond to the operation of a focusing mirror in the paraxial optics approximation.

Indeed, let us consider the reflection of radiation from a spherical mirror. If we consider each of its local sections as an independent focusing element, then the caustic surface shown in this figure will be formed.

However, among all such points there is a special one. A spherical mirror achieves approximately the same focusing as a parabolic one, which can be demonstrated, among other things, by an elementary construction using geometric optics.

Such a special point corresponds to the focus of a spherical mirror; it is equal to half its radius of curvature.

Consequently, the approach aimed at identifying degenerate points of stationarity, developed within the framework of generalized Fourier optics, actually makes it possible to divide a reflecting surface of complex shape into a finite set of mirrors that are close to parabolic.

In fact, this means that the surface under study is replaced by a set of areas in which it is approximated by paraboloids.

The task of radio-holographic diagnostics in this case, therefore, comes down to finding the parameters and location of each of these paraboloids, for which, among other things, you can use directed radio beams (more precisely, narrowly directed radiation), which interacts with a local section of the reflecting surface. It is significant that a group of UAVs is capable of generating highly targeted radiation of even relatively long wavelengths by ensuring phase correlation between the emitters. This approach is known to be quite widely used in practice [14].

We also note that the approximation under consideration differs significantly from the one used in computational methods. This can be seen most clearly by considering the spline method. In accordance with it, an arbitrary curve is divided into finite sections, in which it is approximated by parabolas, and the parameters of the parabolas are selected so that the curve remains continuous. In relation to the spline method, the division of the curve into sections approximated by parabolas can be arbitrary.

The method, based on finding increasingly degenerate points of stationarity, makes it possible to demonstrate that a similar approximation should be chosen based on the type of surface under study, i.e. the partition shown in Fig. 3 is not arbitrary.

Thus, there is an important class of problems in the field of radioholography that can be reduced to establishing the geometric characteristics of paraboloids that approximate the phase boundaries.

To carry out diagnostics based on this principle, in turn, it is important to provide adequate analysis/classification of caustic points inherent in reflected wave fronts.

This approach, in the future, creates the prerequisites for diagnosing subsurface objects, which does not require solving problems of mathematical physics designed to describe the interaction of radio frequency radiation with objects of complex shape. The practical implementation of this approach can be based on the use of groups of UAVs.

Acknowledgements. This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP15473224).

REFERENCES

- 1 Zhang, X., Kang, H., Zuo, Y., Lou, Z., Wang, Y., & Qian, Y. (2019). Near-Field Radio Holography of Slant-Axis Terahertz Antennas. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 10(2), 141-149.
- 2 Xu L., Zuo Y. Design study on the digital correlator using for radio holography //International Conference on Intelligent and Interactive Systems and Applications. – Springer, Cham, 2016. – C. 377-382.
- 3 Igarashi, K., Pavelyev, A., Hocke, K., Pavelyev, D., Kucherjavenkov, I. A., Matyugov, S., ... & Yakovlev, O. (2000). Radio holographic principle for observing natural processes in the atmosphere and retrieving meteorological parameters from radio occultation data. *Earth, planets and space*, 52, 893-899.
- 4 Ivashov, S. I., Razevig, V. V., Vasiliev, I. A., Zhuravlev, A. V., Bechtel, T. D., & Capineri, L. (2011). Holographic subsurface radar of RASCAN type: Development and applications. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4(4), 763-778.
- 5 Cherepenin, V. A., Zhuravlev, A. V., Chizh, M. A., Kokoshkin, A. V., Korotkov, V. A., Korotkov, K. V., & Novichikhin, E. P. (2017). Reconstruction of subsurface radio holograms fully and partially measured by different methods. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 62, 780-787.
- 6 Suleimenov, I. E., Gabrielyan, O. A., Malenko, S. A., Vitulyova, Y. S., & Nekita, A. G. (2021). Algorithmic Basis Of Battle Neural Networks And Crisis Phenomena In Modern Society. In D. Y. Krapchunov, S. A. Malenko, V. O. Shipulin, E. F. Zhukova, A. G. Nekita, & O. A. Fikhtner (Eds.), *Perishable And Eternal: Mythologies and Social Technologies of Digital Civilization*, vol 120. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences* (pp. 247-255).
- 7 Bayana B. Ermukhambetova, Grigoriy A. Mun, Sherniyaz B. Kabdushev, Aruzhan Bulatovna Kadyrzhan, Kaisarali K. Kadyrzhan, Yelizaveta S. Vitulyova, Ibragim E. Suleimenov New approaches to the development of information security systems for unmanned vehicles *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* Vol. 31, No. 2, August 2023, pp. 810~819
- 8 Vitulyova Y., Matrassulova D., Suleimenov I., Bakirov A. “Discrete form of the Huygens-Fresnel principle: to the multi-dimensional analog of the Nyquist–Shannon sampling theorem”, *International Journal of Information Technology*, accepted 13.08.23.
- 9 Suleimenov, I. E., & Kuranov, A. L. (1997). Multibeam interference in systems with ideal translational invariance. *Optics and Spectroscopy*, 82(3), 445-450.
- 10 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1994). Generalized Fourier optics. I. Reflection of monochromatic radiation from mirrors of arbitrary shape. *Optics and spectroscopy*, 77(1).
- 11 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1994). Generalized Fourier optics: II. application of the stationary phase method to the description of wavefront propagation and reflection. *Optics and spectroscopy*, 77(3), 422-428.
- 12 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1995). Generalized fourier optics: III. Description of the wave front reflection from nonplanar mirrors in terms of local curvature. *Optics and Spectroscopy*, 78(1).
- 13 Suleimenov, I. E., & Tolmachev, Y. A. (1995). Classification of singularities of caustic surfaces. *Optics and Spectroscopy*, 79(1), 156-158.
- 14 A. Ripak, V. Khaikin and M. Lebedev, “Aperture Field Recovery of a Reflector Radio Telescope using Phase Shifting Holography,” 2020 7th All-Russian Microwave Conference (RMC), Moscow, Russia, 2020, pp. 162-166, doi: 10.1109/RMC50626.2020.9312237.

С. Х. ДОСТАНОВА^{1*}, Д. Е. ИСАХАНОВА², Д. Е. ЖУМАБЕК³

¹ Сампаев Университет, Алматы, Казахстан;

² КазНМУ им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан;

³ СЗГМУ им. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия.

e-mail: dostanova0109@mail.ru*, djamilya.issakhanova@gmail.com;
rossparty@protonmail.com

МЕХАНИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ К ИССЛЕДОВАНИЮ ДЕФОРМАЦИЙ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА

В работе представлены различные механические модели, используемые в офтальмологии для прогноза возникновения глаукомы, связанные с образованием экскавации (прогиба) решетчатой пластинки диска зрительного нерва. Представленный обзор современных исследований по механическому и математическому моделированию совместного деформирования роговицы и склеры глаза включает линейную и нелинейную теорию тонких оболочек, включая особенности сосудов зрительного нерва, характеристики внутриглазного давления и параметров оболочечной системы. Полученные результаты рассмотренных исследований различаются количественно и качественно. В связи с этим авторами приведена простая механическая модель решетчатой пластинки диска зрительного нерва, которая представлена в виде тонкой упругой мембраны, находящейся под действием внутреннего и внешнего давления. Для решения используются разрешающие уравнения для пластины с большими прогибами. Используя приближенные методы решения, представлены формулы для максимальных значений прогибов, изменения толщины и модулей упругости материала пластины. Приведен пример устойчивого состояния мембраны в «малом», т.е. соответствующее первой форме потери устойчивости (образование одной вмятины). В результате использования механической модели можно получить значительный объем информации для диагностики и прогнозирования глаукомы.

Ключевые слова: глаукома, механическая модель, решетчатая пластинка, мембрана, прогиб, толщина, модуль упругости, устойчивость.

С. Х. ДОСТАНОВА^{1*}, Д. Е. ИСАХАНОВА², Д. Е. ЖУМАБЕК³

¹ Сампаев Университет, Алматы, Қазақстан;

² С.Д. Әсфендияров атындағы ҚазҰМУ, Алматы, Қазақстан;

³ И.И. Мечников атындағы СБММУ, Санкт-Петербург, Ресей.

e-mail: dostanova0109@mail.ru*, djamilya.issakhanova@gmail.com;
rossparty@protonmail.com

КӨЗ ҚАБЫҒЫНЫҢ ДЕФОРМАЦИЯСЫ МЕН МОРФОЛОГИЯЛЫҚ ҚҰРЫЛЫМЫН ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН МЕХАНИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕР

Жұмыста офтальмологияда глаукоманың пайда болуын болжау үшін қолданылатын, оптикалық нерв дискінің торлы пластинкасының экскавациясының (іілуінің) пайда болуымен байланысты әртүрлі механикалық модельдер келтірілген. Көздің қабығы мен склерасының бірлескен деформациясын механикалық және математикалық модельдеу бойынша заманауи зерттеулерге ұсынылған шолу жұқа қабықтардың сызықтық және сызықты емес теориясын

қамтиды. Оптикалық нервтің тамырларының ерекшеліктері, көзішілік қысымның сипаттамалары және қабық жүйесінің параметрлері ескеріледі. Қаралған зерттеулердің нәтижелері сандық және сапалық жағынан ерекшеленеді. Осыған байланысты авторлар ішкі және сыртқы қысымның әсерінен жұқа серпімді мембрана ретінде ұсынылған оптикалық дискінің торлы пластинкасының қарапайым механикалық үлгісін ұсынады. Шешім үшін үлкен иілім бар пластинаның шешуші теңдеулері қолданылады. Шамамен шешу әдістерін қолдана отырып, пластина иілімдарының, қалыңдығының өзгеруінің және материалының серпімділік модулінің максималды мәндері үшін формулалар ұсынылған. «Кіші» мембрананың тұрақты күйінің мысалы, яғни, бүктелудің бірінші түріне сәйкес келеді (бір ойықтың түзілуі). Механикалық модельді қолдану нәтижесінде глаукоманың диагностикасы мен болжамы үшін ақпараттың айтарлықтай көлемін алуға болады.

Түйін сөздер: глаукома, механикалық модель, тор пластина, мембрана, орын ауыстыру, қалыңдық, серпімділік модулі, тұрақтылық.

S. H. DOSTANOVA¹*, D. E. ISAKHANOVA², D. E. ZHUMABEK³

¹ Satpayev University, Almaty, Kazakhstan;

² KazNMU named after S.D. Asfendiyarov, Almaty, Kazakhstan;

³ at North-Western named after И.И. Mechnikov State Medical University, St. Petersburg, Russia.

e-mail: dostanova0109@mail.ru*, djamilya.issakhanova@gmail.com;

rossparty@protonmail.com

MECHANICAL MODELS FOR THE STUDY OF DEFORMATIONS AND MORPHOLOGICAL STRUCTURE OF THE EYE SHELL

The paper presents various models used in ophthalmology to predict the occurrence of glaucoma associated with the formation of excavation (deflection) of the latticed plate of the optic disc. The presented review of modern studies on mechanical and mathematical modeling of joint deformation of the cornea and sclera of the eye includes a linear and nonlinear theory of thin shells, including features of the vessels of the optic nerve, characteristics of intraocular pressure and parameters of the shell system. The results of the reviewed studies differ quantitatively and qualitatively. In this regard, the authors present a simple mechanical model of the latticed plate of the optic disc, which is presented as a thin elastic membrane under the action of internal and external pressure. For the solution, the resolving equations for a plate with large deflections are used. Using approximate solution methods, formulas are presented for the maximum values of deflections, thickness changes, and moduli of elasticity of the plate material. An example of a stable state of the membrane in the "small", i.e. corresponding to the first form of buckling (formation of one dent). An example of a stable state of the membrane in the "small", i.e. corresponding to the first form of buckling (formation of one dent). As a result of using a mechanical model, a significant amount of information can be obtained for the diagnosis and prognosis of glaucoma.

Key words: glaucoma, mechanical model, lattice plate, membrane, deflection, thickness, modulus of elasticity, stability.

Введение. Для понимания механизма сложных процессов часто используют механические модели с соответствующим математическим аппаратом. Моделирование охватывает все сферы человеческой деятельности, включая медицину, технику, строительство и др. В настоящее время в Казахстане постоянно возрастает количество людей с глазными заболеваниями, среди которых по распространенности глаукома занимает одно из первых мест. Все существующие ныне теории, изучающие механизм возник-

новения глаукомы, условно относятся к двум направлениям — механической и сосудистой. Для решения проблем, связанных с интенсивным лечением и прогнозированием глаукомы, необходим многовекторный подход, среди которых имеет свое место совершенствование и развитие механических моделей в задачах офтальмологии [1-7].

Повышение внутриглазного давления приводит к разрушению зрительного нерва, что связано с дефектом поля зрения, который появляется в области решетчатой пластины диска зрительного нерва. Решетчатой пластинкой (РП) называется участок склеры недалеко от заднего полюса глаза. Решетчатая пластинка в 5-6 раз тоньше склеры и ослаблена множеством отверстий, поэтому ее можно рассматривать как круглую или близкую к круглой пластину с жестко заделанным краем. Деформацию решетчатой пластины можно изучать отдельно от деформации склеральной оболочки, что облегчает учет особенностей ее строения — анизотропию и неоднородность.

Механическая модель позволяет рассматривать тело как упруго-пластическое, состояние которого определяется не только внешним воздействием, но и внутренними свойствами тела, такими как податливость и жесткость материала. Согласно принципу Лагранжа, деформации тела под действием внешних воздействий таковы, что полная энергия тела должна иметь стационарное значение, т.е. $\delta\Pi - \delta A = 0$, где Π - потенциальная энергия деформации, A - работа внешних сил. Это означает, что из всевозможных форм деформирования тело выбирает то состояние, при котором полная энергия стремится к минимуму. Отсюда вытекает, что деформации и напряженное состояние тела имеют вполне определенную закономерность. Эта закономерность должна быть учтена в расчетных моделях, с помощью которых можно получить картину изменений напряжений и деформаций, возникающих под внешним воздействием.

При исследовании механических моделей, используемых в офтальмологии, можно выделить следующие:

– в работе [1] рассматривалась механическая модель развития отслойки сосудистой оболочки, которую можно представить как одну из форм разрушения – в виде трещины расслоения. В частности, в зонах сжатия может произойти отслоение, причиной которого является местная потеря устойчивости. Используя энергетический критерий Гриффитса, нижняя граница опасного напряжения отслаивания определяется из соотношения:

$$U_1 = U_2 + W$$

где U_1 – упругая энергия сжатия, накопленная в слое толщиной перед выщелкиванием, U_2 – энергия этого слоя после выщелкивания – энергия изгиба, $W = 2\gamma S$ – работа разрушения (S – площадь поверхности отрыва, а γ – удельная работа разрушения). Рассматривалась потеря устойчивости оболочки, находящейся под действием внешнего давления, с образованием одной вмятины. Использована теория пологих оболочек. Решение для сжимающих напряжений получено на основе энергетического принципа Лагранжа;

– в [2] проведено сравнение решений задачи о деформации составной оболочки (склеры и РП) и отдельно задачи о деформации пластинки под действием нормального давления. Расчеты показали, что, как и отмечается в клинических данных офтальмологов, диаметр склерального кольца практически не меняется, и прогибы

пластинки, полученные при рассмотрении составной оболочки и жестко защемленной пластинки, отличаются меньше, чем на 1%;

– в работе [3] представлено построение моделей многослойных оболочек для исследования таких задач, как напряженно-деформированное состояние внешней фиброзной слоистой оболочки глаза и решетчатой пластинки диска зрительного нерва под действием внутриглазного давления, а также исследования влияния многослойности роговицы на показатели измерения внутриглазного давления. Используя трехмерную задачу теории упругости, представлено решение задач о деформации трехслойной изотропной и двухслойной трансверсально-изотропной сферических оболочек под действием нормального давления;

– в работе [4] указаны основные ступени развития глауко-матозного процесса в зрительном нерве: появление экскавации решетчатой пластины, вызванные повышением внутриглазного давления или снижением внутричерепного давления, при увеличении прогибов появляются зоны по периферии, где нарушается прочность соединительно-тканевой структуры мембраны;

– в диссертации [5] рассмотрен изгиб диска зрительного нерва. Исследована зависимость прогиба диска от внутриглазного и внутричерепного давления;

– в [6] учитывается нелинейность упругого поведения роговицы глаза. Роговица моделируется однородной изотропной безмоментной упругой поверхностью.

Представленный обзор современных исследований по механическому и математическому моделированию совместного деформирования роговицы и склеры глаза включает линейную и нелинейную теорию тонких оболочек, включая особенности сосудов зрительного нерва, характеристики внутриглазного давления и параметров оболочечной системы. Рассмотрены также вопросы устойчивости. Полученные результаты рассмотренных исследований различаются количественно и качественно. Это объясняется использованием разных математических моделей и методов их решения. Для анализа полной картины процесса деформирования роговицы и прогнозирования появления глаукомы необходим системный подход, основанный на достоверных алгоритмах, подтвержденных экспериментальными данными и клиническими наблюдениями. Одним из направлений для решения проблем прогнозирования и диагностики глаукомы является использование простых механических моделей и математического аппарата.

Цель и постановка задачи данного исследования. В данной работе в отличие от обзорных исследований рассматривается только сама решетчатая пластинка диска зрительного нерва. Как отмечалось ранее начальные изменения диска зрительного нерва имеют значение для диагностики глаукомы, а их динамика важна для оценки эффективности проводимой терапии. Это делает важным изучение индивидуальных особенностей строения решетчатых пластин, которые могут увеличить предрасположенность к глаукоматозным повреждениям. В виду геометрических и физических характеристик решетчатая пластинка в данной работе представлена в виде тонкой упругой мембраны, находящейся под действием внутреннего и внешнего давления. Механическая модель мембраны характеризуется отсутствием сопротивления изгибу, т.е. в ее поверхности возникают только растягивающие усилия, которые приводят ее к выпучиванию. Такую мембрану можно изгибать и сминать, т.к. ее жесткость на

изгиб минимальна. Если такую натянутую силами S мембрану загрузить нормальными к ее плоскости силами p , то в ней возникает двумерное напряженное состояние – всестороннее растяжение, причем напряжения равномерно распределены по толщине. Нагрузка p вызывает значительные прогибы, т.е. перемещения в направлении нормали.

Рассмотрим случай, когда мембрана жестко закреплена по краям. В процессе ее деформирования возможно нарушение жесткости и появление частичной податливости связи и изменения прочностных свойств материала мембраны.

Цель данной работы: разработать механические модели решетчатой пластинки диска зрительного нерва для исследования и оценки взаимного влияния значений прогибов, размеров решетчатой пластины и модуля упругости материала роговицы. В результате мониторинга за деформациями решетчатой пластины можно по изменению прочностных свойств материала роговицы прогнозировать появление глаукомы. В зависимости от внутриглазного давления можно определить предельные значения прогибов и прочностной характеристики материала роговицы, при которых нарушается стабильность процесса и переход к большим деформациям. Для сохранения устойчивости состояния склеры глаза необходим постоянный мониторинг за изменениями решетчатой пластины. Для этого необходимо исследовать устойчивость математической модели в «малом» и в «большом». В «малом» означает равновесное состояние, связанное с появлением одной круговой вмятины; в «большом» означает резкий переход к большим деформациям с образованием нескольких вмятин.

Методы исследования. При решении данной задачи используется приближенный метод решения разрешающих уравнений теории тонких пластин.

Механическая модель – упругое состояние тела. Уточним механическую модель мембраны, используемой в механике деформируемого тела. По определению, мембраны — это тонкие пластины, имеющие отношение толщины к размеру в плане в виде следующего неравенства:

$$\frac{h}{a} < \frac{1}{40}$$

Они тонки и гибки, поэтому, чтобы они могли нести нагрузку, нормальную к срединной поверхности, их часто закрепляют на контуре (рис. 1).

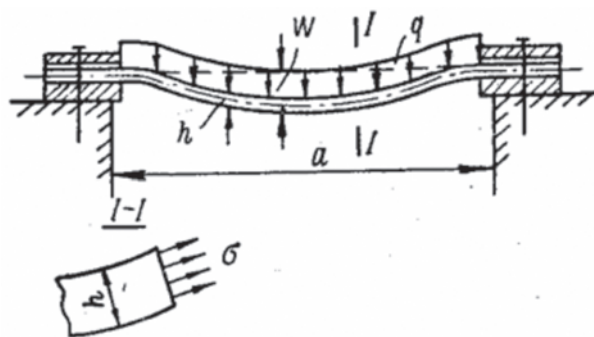


Рисунок 1 – Изгиб мембраны

При этом нагрузка поддерживается мембраной в основном не за счет ее изгиба, а за счет растяжения по всей толщине. Таким образом, можно считать, что нормальные напряжения распределяются равномерно по толщине мембраны и срединная поверхность не свободна от напряжений. Прогибы w мембраны велики и могут в несколько раз превышать ее толщину h . В задачах офтальмологии мембрана будет рассматриваться как круглая пластина радиуса a . В плоскости пластины возникают только цепные усилия (мембранные). Это объясняется тем, что мембрана обладает малой жесткостью на изгиб и поэтому обычно рассчитывается лишь на действие цепных продольных усилий N_x и N_y в срединной плоскости и на вызываемые ими равномерно распределенные по толщине напряжения. Прогибы w мембраны составляют обычно не менее пяти толщин h и в большую сторону не ограничиваются.

Реактивные усилия S на закрепленном контуре (рис. 2) направлены по касательной к изогнутой срединной поверхности мембраны. Они могут быть разложены на составляющие: вертикальную S_z и горизонтальную S_x . Наличие горизонтальной составляющей реактивного усилия (распора), возникающей при действии вертикальной нагрузки, представляет особенность мембраны по сравнению с пластиной средней толщины и плитой. Деформированное состояние мембраны характеризуется двумя параметрами: радиусом кривизны ρ и длиной хорды a (Рис. 2).

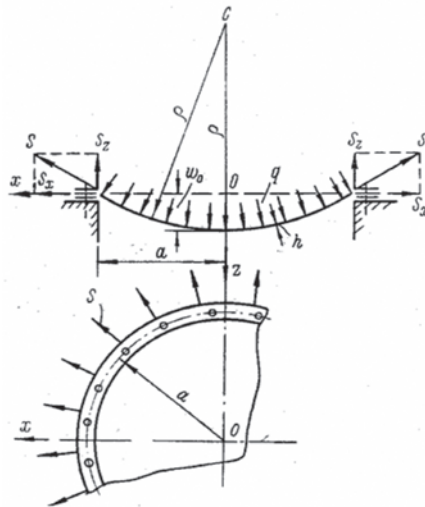


Рисунок 2

Дифференциальное уравнение равновесия для пластины с большими прогибами имеет вид [7-8]:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \nabla^2 \varphi &= E \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] \\ \nabla^2 \nabla^2 w &= \frac{1}{D} \left\{ q(x, y) + h \left[\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right] \right\} \end{aligned} \quad (1)$$

Полагая в уравнениях (1) цилиндрическую жесткость D (жесткость на изгиб) равной нулю, получаем уравнение равновесия для мембраны (2). Функцию прогибов w и функцию напряжений φ в мембране можно найти из системы двух уравнений [7-8]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = \frac{-q(x, y)}{h}$$

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} = E \left[\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right]. \quad (2)$$

Уравнения (2) решаются приближенно. Если функция напряжений φ найдена, выражения для растягивающих цепных усилий N_x и N_y в мембране могут быть вычислены по формулам

$$N_x = h \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \quad \text{и} \quad N_y = h \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad (3)$$

а соответствующие цепные напряжения найдены из выражений

$$N_y = h \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \quad \text{и} \quad \sigma_x = \frac{N_x}{h}.$$

Результаты и их обсуждение. Приближенное определение прогиба и напряжений в круглой мембране:

Учитывая симметрию системы при выводе приближенных формул предполагается, что защемленная на контуре мембрана радиусом r и толщиной h (рис.3) изгибается, образуя шаровую поверхность, и что нагрузка q действует по нормали к этой изогнутой поверхности.

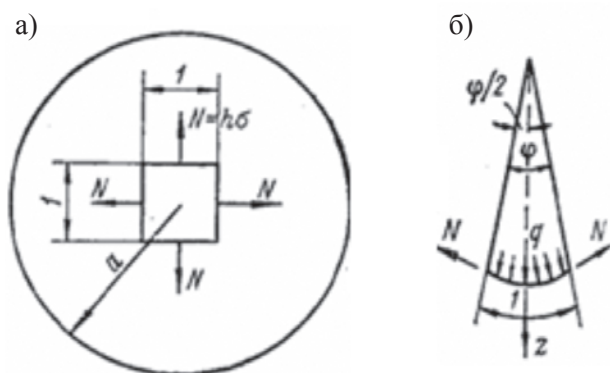


Рисунок 3 – Модель мембраны

При этих условиях усилия N и напряжение σ (рис. 3, а) по кромкам элемента, вырезанного из мембраны двумя взаимно перпендикулярными сечениями, окажутся одинаковыми. При размерах элемента, равных единице,

$$N = 1 \cdot h\sigma \quad (4)$$

Согласно уравнению равновесия сумма проекций нагрузки и усилий, действующих по кромкам элемента на нормаль z к поверхности элемента

$$-4N \sin \frac{\varphi}{2} + q \cdot 1 \cdot 1 = 0 \quad (5)$$

Центральный угол φ выражаем через длину дуги кромки элемента и радиус кривизны ρ . Замена в уравнении (5), ввиду малости φ ,

$$\sin \frac{\varphi}{2} \text{ на } \frac{\varphi}{2}, \text{ а } \varphi \text{ на } \frac{1}{\rho}$$

дает выражение:

$$N = \frac{q}{2\varphi} = \frac{q\rho}{2}$$

для усилия;

$$\frac{1}{\rho} = \frac{q}{2N} \quad (6)$$

для кривизны.

Тогда для напряжения из формулы (4) получим

$$\sigma = \frac{N}{h} = \frac{2\rho}{2h} \quad (7)$$

Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой срединной поверхности на основании зависимости (6-7) имеет вид:

$$\frac{d^2 w}{dx^2} = -\frac{q}{2N}.$$

Величина прогиба w в середине мембраны получается на основании закона сохранения энергии:

$$U = A. \quad (8)$$

где U – потенциальная энергия деформации мембраны; A – работа внешних сил на перемещениях, вызванных деформацией мембраны.

Потенциальная энергия мембраны

$$U = \iint_A \sigma \varepsilon dA = \mu \pi a^2 h \quad (9)$$

где A – площадь поверхности сферы, а деформации записаны с учетом закона Гука

$$\varepsilon = \frac{1}{E}(\sigma - \mu\sigma),$$

Величина μ называется коэффициентом Пуассона, она характеризует сопротивляемость материала в поперечном направлении. Величина “ u ” выражена через напряжение следующим образом:

$$u = 2 \frac{\sigma \varepsilon}{2} = \frac{\sigma^2}{E} (1 - \mu) .$$

Тогда, на основании формулы (7):

$$u = \frac{q^2 \rho^2}{4h^2 E} (1 - \mu) . \quad (10)$$

Зависимость между радиусом кривизны ρ и прогибом w_0 в середине мембраны (рис. 3,б):

$$a^2 + (\rho - w_0)^2 = \rho^2$$

или после возведения скобки в квадрат и отбрасывания w_0^2 как величины высшего порядка малости

$$a^2 - 2\rho w_0 = 0$$

откуда

$$\rho = \frac{a^2}{2w_0} \quad (11)$$

Подстановка этого значения ρ в формулу (10) и значения u в формулу 9) дает выражение для потенциальной энергии

$$U = \frac{q^2 a^6 \pi}{16w_0^2 h E} (1 - \mu) . \quad (12)$$

В (12) величина E представляет модуль упругости материала пластины, т.е. величину, определяющую сопротивляемость мембраны растяжению. Модуль E представляет собой физическую константу и определяется экспериментальным путем. В дальнейшем эту величину определим из данных для среднестатистического прогиба мембраны под действием ВГД. Работа A внешних сил получится как интеграл, взятый по площади мембраны, половины произведения элементарной силы $q dx dy$ на прогиб $w(x, y)$:

$$A = \frac{1}{2} q \int_F w(x, y) dx dy \quad (13)$$

Интеграл в выражении (13) представляет собой объем $V_{ш.с.}$ шарового сегмента с высотой w_0 и радиусом a :

$$V_{ш.с.} = \frac{1}{6} \pi w_0 (3a^2 + w_0^2)$$

или, если отбросить w_0^2 ,

$$\int_F w(x, y) dx dy = V_{u.c.} = \frac{\pi w_0 a^2}{2}.$$

Поэтому выражение (13) примет вид

$$A = \frac{q\pi w_0 a^2}{4} \quad (14)$$

При подстановке значений (12) и (14) в выражение (8), получаем

$$\frac{qa^4}{16w_0^2 h E} (1 - \mu) = \frac{w_0}{4}.$$

Тогда прогиб в середине мембраны

$$w_0 = \sqrt[3]{\frac{a^4 q}{4 E h} (1 - \mu)} \quad (15)$$

Полагая коэффициент $\mu = 0$, прогиб в середине пластины равен:

$$w_0 = \sqrt[3]{\frac{a^4 q}{4 E h}} \quad (16)$$

Условия постоянства объема дает следующую формулу для толщины мембраны:

$$h = h_0 \frac{a^2}{a^2 + w_0^2} \quad (17)$$

В норме толщина решетчатой мембраны склеры может варьировать от 119 до 463 мкм. Используя формулу (17), можно определить изменение толщины в зависимости от максимального прогиба. Снижение толщины решетчатой пластины является ранним признаком прогрессирования данной формы глаукомы.

Радиус кривизны ρ связан с радиусом мембраны a и максимальным прогибом в центре следующим выражением:

$$\rho = \frac{a^2 + w_0^2}{2w_0} \quad (18)$$

Чем сильнее изменена морфологическая структура решетчатой мембраны, а именно ее толщина и кривизна, тем быстрее происходит истончение слоя нервных волокон, причем показатель индекса кривизны по сравнению с параметром толщины решетчатой мембраны, является лучшим маркером истончения слоя нервных волокон сетчатки.

Интенсивность растягивающих усилий, т.е. нормальное напряжение σ выражается через внешнее давление q :

$$\sigma = \frac{q\rho}{2h} = \frac{qa}{2h_0} \quad (19)$$

Из (19) можно выразить внешнее давление через напряжение σ :

$$q = \frac{2h_0\sigma}{\rho} \quad (20)$$

Для определения модуля упругости E используем формулу (16), тогда можно записать:

$$E = \frac{a^4 q}{4w_0^3 h} \quad (21)$$

Зависимости (16, 17) позволяют определять прогибы в середине пластины и соответствующие им модули упругости материала.

Рассмотрим состояние, когда появляется пластичность, т.е. нормальное напряжение достигает предела текучести:

$$\sigma = \sigma_T, \quad q = 4h_0\sigma_T \frac{a^2 w_0}{(a^2 + w_0^2)^2} \quad (22)$$

Наибольшие напряжения в мембране появляются по краям, поэтому разрушение осуществляется по периметру в области закрепления, разрушение мембраны связано с полным ее отрывом по краям и образованием отверстий. Это объясняется утончением соединительно структурной ткани решетчатой пластины и появлением мелких отверстий. На рис. 4 представлено распределение вертикальных составляющих цепных усилий N в месте примыкания мембраны к контуру.

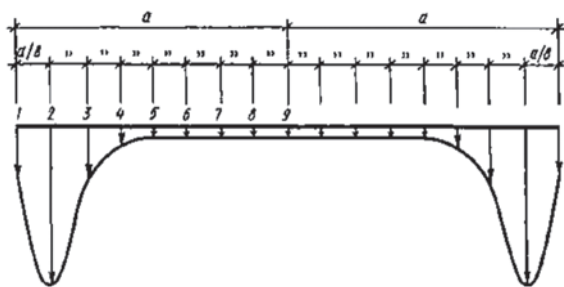


Рисунок 4 – График распределения цепных усилий в мембране в диаметральном направлении

Рассмотрен пример со среднестатистическими данными при появлении глаукомы. Использованы формулы для модулей упругости материала решетчатой пластины. В качестве расчетной модели выбрана мембрана с большими прогибами.

Пример. Рассмотрим устойчивое состояние мембраны в «малом», т.е. соответствующее первой форме потери устойчивости (образование одной вмятины).

Данные мембраны:

Толщина $h = 17$ микрон $= 0,017$ мм $= 0,017 \times 10^{-3}$ м;

Диаметр $a = 1,76$ мм $= 1,76 \times 10^{-3}$ м; внешнее давление $q_{н\text{ ср}} = 16 - 21$ мм рт. ст. $= 2133,12$ Па $- 2799,72$ Па; $q_{н} = 12 - 16$ мм рт. ст. $= 1599,84 - 2133,12$ Па, $w_0 = 3$ мм $= 3 \times 10^{-3}$ м.

Для указанного диапазона ВГД получаем следующие значения модуля упругости мембраны, характеризующие сопротивляемость мембраны деформации растяжения: для $q_{н\text{ ср}} = 16\text{ мм рт. ст.}$

$$E = \frac{a^4 q}{4w_0^3 h} = \frac{1,76^4 \cdot 10^{-12} \cdot 2133,12}{4 \cdot 0,017 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-9}} \text{ Па} = 10^5 \text{ Па} = 100 \text{ КПа} \quad (23)$$

для $q_{н\text{ ср}} = 21 \text{ мм рт. ст.}$

$$E = \frac{a^4 q}{4w_0^3 h} = \frac{1,76^4 \cdot 10^{-12} \cdot 2799,72}{4 \cdot 0,017 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-9}} \text{ Па} = 1,32 \cdot 10^5 \text{ Па} = 132 \text{ КПа}$$

для $q_{н} = 12 \text{ мм рт. ст.}$

$$E = \frac{a^4 q}{4w_0^3 h} = \frac{1,76^4 \cdot 10^{-12} \cdot 1599,84}{4 \cdot 0,017 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^{-9}} \text{ Па} = 0,752 \cdot 10^5 \text{ Па} = 75,2 \text{ КПа}$$

Из (23) видно, как изменяется сопротивляемость мембраны растяжению, этот диапазон изменяется от 75,2 Кпа до 132 Кпа. Если существует внутричерепное давление q'' , то в формуле (17 и 18) необходимо вместо q записать разность $(q - q'')$. Зависимость модуля E от внешнего давления представлена на рис. 5. Полученные данные соответствуют устойчивому состоянию мембраны, при нарушении этого соответствия происходит резкое нарастание прогибов, что может привести к разрыву или появлению новых форм искривления (несколько вмятин). Максимальное натяжение соответствует краям пластины. При достижении предельного давления прогибы резко возрастают, при этом значение модуля упругости падает. Это вызвано появлением необратимых деформаций вследствие пластичности.

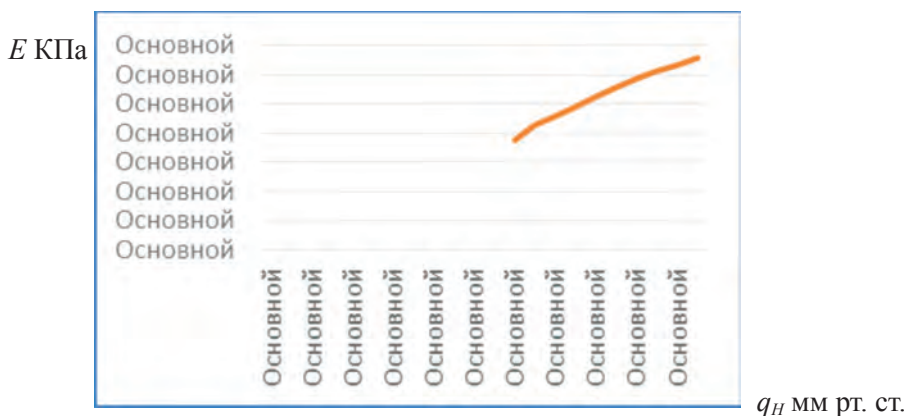


Рисунок 5 – Зависимость модуля E от внешнего давления

Необходимо отметить, что рассматривая мембрану без начальной кривизны, получаем более завышенные результаты в сравнении с оболочечной системой. Рассматривая модель роговицы глаза как оболочку, вследствие ее кривизны сопротивляемость изгибу повышается, что приводит к уменьшению прогибов. В дальнейшем, используя математический аппарат, можно получить более точное решение, т.е. определить про-

гибы по всей поверхности мембраны и учесть изменение податливости связи по краям. Это связано с изменением модуля упругости материала со временем, что приводит к нарушению жесткости связей в процессе жизненного цикла, это возможно учесть, рассматривая вероятностный процесс с использованием случайных функций. Другим направлением для уточнения решения является рассмотрение материала мембраны как анизотропное или многослойное тело. Наиболее простой моделью для получения решения является использование обобщенных параметров: E , h , μ , σ . Для определения прочностных свойств решетчатой пластины склеры необходимо использовать современные методы оптической когерентной томографии, что позволит прогнозировать выявление и прогнозирования глаукомы.

Закключение.

1. Несмотря на многочисленные исследования глаукомы, необходимо постоянное совершенствование и развитие теории и практики ее лечения. Одним из направлений исследования глаукомы является рассмотрение различных механических и математических моделей решетчатой пластинки диска зрительного нерва и оболочечной структуры глаза. Развитие этих моделей требует всестороннего и системного подхода. Исследование параметров и морфометрических свойств решетчатой пластины склеры на основе механических моделей дает большой объем информации для диагностики и прогнозирования глаукомы.

2. Для тестирования полученных результатов необходимо расширить мониторинг за состоянием сосудистой оболочки глаза. В результате мониторинга дать оценку проведенных моделей и выявить главное и эффективное направление для дальнейших исследований.

3. При исследовании причин появления глаукомы необходимо использование современных методов оптической когерентной томографии для определения прочностных характеристик решетчатой пластины склеры, а именно, ее сопротивляемость растяжению, т.к. при слабой сопротивляемости появляются большие прогибы, которые провоцируют и приводят к разрыву мембраны или к появлению локальных вмятин.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Морщинина А. А. Математическая модель глаукомы. Модели теории упругости для склеры и сосудов зрительного нерва при глаукоме // Lambert Academic Publishing. 2011. 94 с.
- 2 Бауэр С. М., Воронкова Е. Б. Модели теории оболочек и пластин в задачах офтальмологии. -Санкт-Петербург, Вестник СПбГУ. Сер. 1. Т. 1 (59). 2014. Вып. 3.
- 3 Карамшина Л.М. Модели многослойных оболочек в задачах офтальмологии. -Санкт-Петербург, Автореферат канд. диссерт., 2011. - 12 С.
- 4 Волков В.В. Биомеханические и другие факторы в патогенезе глаукомы псевдонормального давления. Глаукома. Материалы Всероссийской научно-практической конференции: Глаукома на рубеже тысячелетий:итоги и перспективы. Москва, 1999, с.35-39.
- 5 Керейчук М.А. Математическая модель глаукомы. Диссерт. к.ф.м., 2001.
- 6 Штейн А.А., Моисеева И.Н., Любимов Г.А. Математическая модель роговицы глаза с учетом экспоненциальной нелинейности ее упругих свойств при условии геометрической малости// Российский журнал биомеханики, т.23, №3.- Пермь,2019.- 375-390с.
- 7 Вольмир А.С. Устойчивость упругих систем. Москва, 1963, 880с.
- 8 Тимошенко С.П., Войновский-Кригер С. Пластинки и оболочки. Москва, 1966, 636с.

REFERENCES

- 1 Morshchinina A. A. Mathematical model of glaucoma. Elasticity theory models for the sclera and optic nerve vessels in glaucoma // Lambert Academic Publishing. 2011. 94 p.
- 2 Bauer S. M., Voronkova E. B. Models of the theory of shells and plates in problems of ophthalmology. St. Petersburg, Bulletin of St. Petersburg State University. Ser. 1. Vol. 1 (59). 2014. Issue. 3.
- 3 Karamshina L.M. Models of multilayer shells in problems of ophthalmology. -St. Petersburg, Abstract of Ph.D. dissertation, 2011.- 12 p.
- 4 Volkov V.V. Biomechanical and other factors in the pathogenesis of pseudonormal pressure glaucoma. Glaucoma. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference: Glaucoma at the turn of the millennium: results and prospects. Moscow, 1999, pp. 35-39.
5. Kereychuk M.A. Mathematical model of glaucoma. Dissert. k.f.m., 2001.
- 6 Stein A.A., Moiseeva I.N., Lyubimov G.A. Mathematical model of the cornea of the eye, taking into account the exponential nonlinearity of its elastic properties under the condition of geometric smallness // Russian Journal of Biomechanics, v.23, No. 3. - Perm, 2019. - 375-390p.
- 7 Volmir A.S. Stability of elastic systems. Moscow, 1963, 880s.
- 8 Timoshenko S.P., Voinovsky-Krieger S. Plates and shells. Moscow, 1966, 636s.

**M. KOSHANOVA*, M. MURATBEKOVA,
B. TURMETOV**

*A. Yasau International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan
e-mail: *maira.koshanova@ayu.edu.kz; moldir.muratbekova@ayu.edu.kz;
batirkhan.turmetov@ayu.edu.kz*

DIRECT AND INVERSE PROBLEMS FOR A TWO-DIMENSIONAL PARABOLIC EQUATION WITH INVOLUTION

In this paper, using mappings of the involution type, we introduce a nonlocal analogue of the two-dimensional Laplace operator and consider the corresponding two-dimensional differential equation of parabolic type with involution. For this equation, the direct and inverse problems of finding the factors of the right-hand side, depending on the spatial variables, are studied.

The studied problems are solved by reducing them to direct and inverse problems for classical two-dimensional differential equations of parabolic type. On the basis of well-known theorems obtained for auxiliary problems, theorems on the existence and uniqueness of the solution of the studied problems are proved. The explicit form of solutions of the studied problems is constructed in the form of a series.

Key words: *involution, initial boundary value problem, nonlocal operator, inverse problem, parabolic equation.*

**М. Д. КОШАНОВА*, М. А. МУРАТБЕКОВА,
Б. Х. ТУРМЕТОВ**

*Қ.А.Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан
e-mail: *maira.koshanova@ayu.edu.kz; moldir.muratbekova@ayu.edu.kz;
batirkhan.turmetov@ayu.edu.kz*

ИНВОЛЮЦИЯСЫ БАР ЕКІ ӨЛШЕМДІ ПАРАБОЛАЛЫҚ ТЕНДЕУ ҮШІН ТУРА ЖӘНЕ КЕРІ ЕСЕПТЕР

Бұл мақалада инволюциясы бар екі өлшемді параболалық теңдеу үшін тура және кері есептердің шешілу мүмкіндігін зерттеуге арналған. Қарастырылып отырған есептер параболалық типті классикалық екі өлшемді дифференциалдық теңдеулер үшін тура және кері есептер шығару арқылы шешіледі. Көмекші есептер бойынша алынған белгілі теоремалар негізінде қарастырылатын есептердің шешімдерінің бар және жалғыздығы туралы теоремалар дәлелденеді. Зерттелетін есептердің шешімдерінің айқын формасы қатар түрінде құрастырылады.

Түйін сөздер: *инволюция, бастапқы-шеттік есеп, локальды емес оператор, кері есеп, параболалық теңдеу.*

М. Д. КОШАНОВА*, М. А. МУРАТБЕКОВА, Б. Х. ТУРМЕТОВ

Международный казахско-турецкий университет им. К.А.Ясави, Туркестан, Казахстан

*e-mail: *maira.koshanova@ayu.edu.kz; moldir.muratbekova@ayu.edu.kz;*

batirkhan.turmetov@ayu.edu.kz

ПРЯМЫЕ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ ДВУМЕРНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ С ИНВОЛЮЦИЕЙ

Статья посвящена исследованию вопросов разрешимости прямой и обратной задачи для двумерного параболического уравнения с инволюцией. Рассматриваемые задачи решаются сведением их к прямым и обратным задачам для классических двумерных дифференциальных уравнений параболического типа. На основании известных теорем, полученных относительно вспомогательных задач, доказаны теоремы о существовании и единственности решения рассматриваемых задач. Явный вид решений исследуемых задач построен в виде ряда.

Ключевые слова: инволюция, начально-краевая задача, нелокальный оператор, обратная задача, параболическое уравнение.

1. Statement of the problem. Among differential equations with deviating arguments, a special place is occupied by equations with involutive deviations. Mapping S is called an involution if $S^2 = E$, where E is the identity mapping.

The theory of equations with involutively transformed arguments and their applications are described in detail in monographs [1–4]. To date, for differential equations with various types of involution, the well-posedness of boundary and initial-boundary value problems, the qualitative properties of solutions, and spectral questions have been well studied [5–16]. It is also necessary to note some recent works on inverse problems for heat equations and their fractional analogues [17–20].

The work is devoted to the study of solvability of direct and inverse problems for a two-dimensional parabolic equation with involution.

Let us consider the problem statement. Let $0 < p, q, T$ be real numbers, $\Pi = \{x = (x_1, x_2) \in R^2 : 0 < x_1 < p, 0 < x_2 < q\}$ - a rectangle, $Q = (0, T) \times \Pi$.

For any point $x = (x_1, x_2) \in \Pi$ we consider the following mappings

$$S_0x = (x_1, x_2), S_1x = (p - x_1, x_2), S_2x = (x_1, q - x_2), S_3x = (p - x_1, q - x_2).$$

It is obvious that for any $j = \overline{0, 3}$ the equalities $S_j^2x = x$, are satisfied, i.e., mappings S_j are involutions. In addition, the equalities also hold:

$$S_1 \cdot S_2 = S_2 \cdot S_1 = S_3, S_1 \cdot S_3 = S_3 \cdot S_1 = S_2, S_2 \cdot S_3 = S_3 \cdot S_2 = S_1.$$

Let a_j be real numbers, $j = \overline{0, 3}$, Δ - the Laplace operator acting on the variables x_1 and x_2 . For the function $v(x_1, x_2) \in C^2(\Pi)$ we can introduce the operator

$$Lv(x) \equiv a_0\Delta v(S_0x) + a_1\Delta v(S_1x) + a_2\Delta v(S_2x) + a_3\Delta v(S_3x).$$

The operator L will be called a nonlocal Laplace operator. If $a_0 = 1, a_j = 0, j = 1, 2, 3$, L coincides with the ordinary two-dimensional Laplace operator.

Let us consider the following equation in the domain Q

$$u_t(t, x) - a_0 \Delta u(t, S_0 x) - a_1 \Delta u(t, S_1 x) - a_2 \Delta u(t, S_2 x) - a_3 \Delta u(t, S_3 x) = F(t, x), (t, x) \in Q. \quad (1)$$

Here $\Delta u(t, S_j x)$ means that $\Delta u(t, S_j x) = \Delta u(t, z)|_{z=S_j x}, j = \overline{0, 3}$.

If $a_0 = 1, a_j = 0, j = 1, 2, 3$, equation (1) coincides with the classical parabolic equation.

Let us introduce the class of functions $W = \{u(t, x) : u \in C(\overline{Q}) \cap C_{t,x}^{1,2}(Q)\}$ and consider the following problems in the domain Q .

Problem DP (Direct Problem). In the domain Q find the function $u(t, x) \in W$ satisfying equation (1) and the following conditions

$$u(0, x) = \varphi(x), x \in \overline{\Pi}, \quad (2)$$

$$u(t, 0, x_2) = u(t, q, x_2) = 0, 0 \leq x_2 \leq q, 0 \leq t \leq T, \quad (3)$$

$$u(t, x_1, 0) = u(t, x_1, p) = 0, 0 \leq x_1 \leq p, 0 \leq t \leq T. \quad (4)$$

Problem IP (Inverse Problem). Let $F(t, x) = g(t)f(x, y)$. Find the functions $u(t, x) \in W$ and $f(x) \in C(\overline{\Pi})$ satisfying conditions (1) - (4) and the additional condition

$$u(t_0, x) = \psi(x), x \in \overline{\Pi}, \quad (5)$$

where t_0 is a fixed point in the segment $(0, T]$, $\varphi(x), \psi(x)$ and $g(t)$ are given functions.

It should be noted that considered here **DP** and **IP** problems for the case $a_0 = 1, a_j = 0, j = 1, 2, 3$, were studied in [21].

2. Auxiliary assertions. In this section, we present some well-known assertions proved in [26].

Let $a > 0$. Consider the following equation in the domain Q :

$$w_t(t, x) - a^2 \Delta w(t, x) = F(t, x), (t, x) \in Q. \quad (6)$$

Let us consider the following problems in the domain Q .

Problem 1. Find the function $w(t, x) \in W$, which in the domain Q satisfies equation (6) and the conditions

$$w(0, x) = \varphi(x), x \in \overline{\Pi}, \quad (7)$$

$$w(t, 0, x_2) = w(t, q, x_2) = 0, 0 \leq x_2 \leq q, 0 \leq t \leq T, \quad (8)$$

$$w(t, x_1, 0) = w(t, x_1, p) = 0, 0 \leq x_1 \leq p, 0 \leq t \leq T. \quad (9)$$

Problem 2. Let $F(t, x) = g(t)f(x, y)$. Find the functions $w(t, x) \in W$ and $f(x) \in C(\overline{\Pi})$, which in the domain Q satisfy conditions (6)-(9) and the additional condition

$$w(t_0, x) = \psi(x), x \in \bar{\Pi} ,$$

where t_0 is a fixed point in the segment $(0, T]$, $\varphi(x), \psi(x)$ and $g(t)$ are given functions.

In [26], the following assertions were proved for problems 1 and 2.

Theorem 1. If there is a solution to Problem 1 satisfying the conditions

$$\lim_{x_1 \rightarrow 0^+} u_{x_1}(t, x_1, x_2) \sin \frac{\pi m x_1}{p} = \lim_{x_1 \rightarrow p^-} u_{x_1}(t, x_1, x_2) \sin \frac{\pi n x_1}{p} = 0, 0 \leq x_2 \leq q, 0 \leq t \leq T ,$$

$$\lim_{x_2 \rightarrow 0^+} u_{x_2}(t, x_1, x_2) \sin \frac{\pi n x_2}{q} = \lim_{x_2 \rightarrow q^-} u_{x_2}(t, x_1, x_2) \sin \frac{\pi m x_2}{q} = 0, 0 \leq x_1 \leq p, 0 \leq t \leq T ,$$

then it is unique.

Theorem 2. If $\varphi(x) \in C^2(\bar{\Pi}), F(t, x) \in C^{0,2}(\bar{Q})$ and conditions

$$\varphi(0, x_2) = \varphi(p, x_2) = 0, 0 \leq x_2 \leq q, \varphi(x_1, 0) = \varphi(x_1, q) = 0, 0 \leq x_1 \leq p , \tag{10}$$

$$\begin{aligned} F(t, 0, x_2) = F(t, p, x_2) = 0, 0 \leq x_2 \leq q, 0 \leq t \leq T, \\ F(t, x_1, 0) = F(t, x_1, q) = 0, 0 \leq x_1 \leq p, 0 \leq t \leq T \end{aligned} , \tag{11}$$

are satisfied, then the solution to Problem 1 from the class W exists, is unique and is represented as a series

$$w(t, x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{mn}(t) X_{mn}(x), \tag{12}$$

where

$$X_{mn}(x) = \frac{2}{\sqrt{pq}} \sin \mu_m x_1 \sin \nu_n x_2, \mu_m = \frac{\pi m}{p}, \nu_n = \frac{\pi n}{q}, \mu_{mn}^2 = \mu_m^2 + \nu_n^2 , \tag{13}$$

$$w_{mn}(t) = \varphi_{mn} e^{-\mu_{mn}^2 a^2 t} + \int_0^t F_{mn}(s) e^{-\mu_{mn}^2 a^2 (t-s)} ds ,$$

$$F_{mn}(t) = (F, X_{mn}) \equiv \int_{\Pi} F(t, x) X_{mn}(x) dx, \varphi_{mn} = (\varphi, X_{mn}) \equiv \int_{\Pi} \varphi(x) X_{mn}(x) dx .$$

Theorem 3. Let the function $\varphi(x)$ belong to the class $C^4(\bar{\Pi})$ and satisfy the conditions

$$\begin{aligned} \varphi(0, x_2) = \varphi_{x_1 x_1}(0, x_2) = \varphi(p, x_2) = \varphi_{x_1 x_1}(p, x_2), 0 \leq x_2 \leq q, \\ \varphi(x_1, 0) = \varphi_{x_2 x_2}(x_1, 0) = \varphi(x_1, q) = \varphi_{x_2 x_2}(x_1, q), 0 \leq x_1 \leq p \end{aligned} , \tag{14}$$

and the function $F(t, x)$ satisfy the conditions of Theorem 2. Then the solution to Problem 1 exists, is unique, represented in the form of series (12) and belongs to the class $C^1(\bar{Q}) \cap C_x^2(Q)$.

Now we will consider the main assertions for Problem 2.

Theorem 4. Let $g(t) = 1$. If functions $\varphi(x)$ and $\psi(x)$ satisfy conditions (14), then the solution to Problem 2 exists, is unique, and can be represented in the form of series

$$w(t, x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{mn}(t) X_{mn}(x), \tag{15}$$

$$f(x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{mn}(t) X_{mn}(x), \tag{16}$$

where

$$f_{mn} = (a\mu_{mn})^2 \left(\frac{\Psi_{mn}}{1 - e^{-(a\mu_{mn})^2 t_0}} - \frac{e^{-(a\mu_{mn})^2 t_0} \Phi_{mn}}{1 - e^{-(a\mu_{mn})^2 t_0}} \right),$$

$$w_{mn}(t) = \frac{e^{-(a\mu_{mn})^2 t} - e^{-(a\mu_{mn})^2 t_0}}{1 - e^{-(a\mu_{mn})^2 t_0}} \Phi_{mn} + \frac{1 - e^{-(a\mu_{mn})^2 t}}{1 - e^{-(a\mu_{mn})^2 t_0}} \Psi_{mn},$$

$$\Phi_{mn} = (\varphi, X_{mn}), \Psi_{mn} = (\psi, X_{mn}).$$

Theorem 5. Let $g(t) \neq 1, g(t) \in C[0, T]$ and $|g(t)| \geq g_0 > 0$. If the functions $\varphi(x)$ and $\psi(x)$ satisfy conditions (14), the solution to Problem 2 exists, is unique, and can be represented in the form of series (15) and (16). In this case, the coefficients of these series are determined by the equalities

$$f_{mn} = \frac{1}{g_{mn}(t_0)} (\Psi_{mn} - \Phi_{mn} e^{-(a\mu_{mn})^2 t_0}),$$

$$w_{mn}(t) = \left(1 - \frac{g_{mn}(t)}{g_{mn}(t_0)} \right) e^{-(a\mu_{mn})^2 t} \Phi_{mn} + \frac{g_{mn}(t)}{g_{mn}(t_0)} \Psi_{mn},$$

$$g_{mn}(t) = \int_0^t g(s) e^{-(a\mu_{mn})^2 (t-s)} ds.$$

3. Investigation of the direct problem. In this section, we consider the direct problem.

Let the function $u(t, x)$ be a solution to equation (1). Changing the point (t, x) by $(t, S_j x), j = 1, 2, 3$ in equation (1) for the function $u(t, x)$, we obtain the following system

$$U_t = A\Delta U + \bar{F} \tag{17}$$

where

$$U = \begin{pmatrix} u(t, x) \\ u(t, S_1 x) \\ u(t, S_2 x) \\ u(t, S_3 x) \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} a_0 & a_1 & a_2 & a_3 \\ a_1 & a_0 & a_3 & a_2 \\ a_2 & a_3 & a_0 & a_1 \\ a_3 & a_2 & a_1 & a_0 \end{pmatrix}, \bar{F} = \begin{pmatrix} F(t, x) \\ F(t, S_1 x) \\ F(t, S_2 x) \\ F(t, S_3 x) \end{pmatrix}.$$

It is not difficult to show that the eigenvectors and the corresponding eigenvalues of the matrix A can be written as:

$$V_1 = (1,1,1,1)^T, V_2 = (1,1,-1,-1)^T, V_3 = (1,-1,1,-1)^T, V_4 = (1,-1,-1,1)^T,$$

$$\varepsilon_1 = a_0 + a_1 + a_2 + a_3; \varepsilon_2 = a_0 + a_1 - a_2 - a_3; \varepsilon_3 = a_0 - a_1 + a_2 - a_3; \varepsilon_4 = a_0 - a_1 - a_2 + a_3.$$

Let us multiply equation (17) scalarly to the vector $V_j, j=1,2,3,4$. Then, taking into account the symmetry of the matrix A and the equality, $AV_j = \varepsilon_j V_j$ we get

$$(U_t, V_j) = \Delta(U, AV_j) + (\bar{F}, V_j) \Rightarrow (U_t, V_j) = \varepsilon_j \Delta(U, V_j) + (\bar{F}, V_j).$$

Further, we introduce the notation $w_j(t, x) = (U, V_j), j=1,2,3,4$. Then for the function $w_j(t, x)$ we obtain a system of equations

$$\frac{\partial w_j(t, x)}{\partial t} = \varepsilon_j \Delta w_j(t, x) + \tilde{F}_j(t, x), (t, x) \in Q, j=1,2,3,4.$$

where

$$\tilde{F}_j(t, x) = v_{1j}F(t, x) + v_{2j}F(t, S_1x) + v_{3j}F(t, S_2x) + v_{4j}F(t, S_3x).$$

In addition, from boundary conditions (2) and (3) we obtain

$$w_i(0, x) = \sum_{j=0}^3 v_{i,j+1} u(0, S_j x) = \sum_{j=0}^3 v_{i,j+1} \varphi(S_j x) \equiv \tilde{\varphi}_i(x), i = \overline{1,4},$$

$$w_j(t, 0, x_2) = v_{1j}u(t, 0, x_2) + v_{2j}u(t, p, x_2) + v_{3j}u(t, 0, q - x_2) + v_{4j}u(t, p, q - x_2) = 0$$

$$w_j(t, p, x_2) = v_{1j}u(t, p, x_2) + v_{2j}u(t, 0, x_2) + v_{3j}u(t, p, q - x_2) + v_{4j}u(t, 0, q - x_2) = 0$$

$$w_j(t, x_1, 0) = v_{1j}u(t, x_1, 0) + v_{2j}u(t, p - x_1, 0) + v_{3j}u(t, x_1, q) + v_{4j}u(t, p - x_1, q) = 0$$

$$w_j(t, x_1, q) = v_{1j}u(t, x_1, q) + v_{2j}u(t, p - x_1, q) + v_{3j}u(t, x_1, 0) + v_{4j}u(t, p - x_1, 0) = 0$$

Thus, we have proved the following assertion.

Theorem 6. Let $V_j = (v_{1,j}, v_{2,j}, v_{3,j}, v_{4,j})^T$ be an eigenvector of the matrix A and ε_j – the corresponding eigenvalue and $\varepsilon_j \neq 0, j=1,2,3,4$. If the function $u(t, x)$ is a solution to the DP problem, then the functions

$$w_j(t, x) = v_{1j}u(t, x) + v_{2j}u(t, S_1x) + v_{3j}u(t, S_2x) + v_{4j}u(t, S_3x), j=1,2,3,4$$

are solutions to the following problems

$$\frac{\partial w_j(t, x)}{\partial t} = \varepsilon_j \Delta w_j(t, x) + \tilde{F}_j(t, x), (t, x) \in Q \tag{18j}$$

$$w_j(0, x) = \tilde{\varphi}_j(x), x \in \bar{\Pi}, \tag{19j}$$

$$\begin{aligned} w_j(t, 0, x_2) &= w_j(t, p, x_2) = 0, 0 \leq t \leq T, 0 \leq x_2 \leq q; \\ w_j(t, x_1, 0) &= w_j(t, x_1, q) = 0, 0 \leq t \leq T, 0 \leq x_1 \leq p \end{aligned} \quad (20j)$$

where functions $\tilde{F}_j(t, x)$ and $\tilde{\Phi}_j(x)$ are defined by the equalities

$$\tilde{F}_j(t, x) = \sum_{i=0}^3 v_{i+1,j} F(t, S_i x), \tilde{\Phi}_j(x) = \sum_{i=0}^3 v_{i+1,j} \Phi(S_i x), j = \overline{1,4}. \quad (21j)$$

Let us prove the converse assertion. Note that the system of algebraic equations $w_j(t, x) = (U, V_j)$, $j = 1, 2, 3, 4$ can be rewritten as $W = VU$, where

$$\begin{aligned} W &= (w_1(t, x), w_2(t, x), w_3(t, x), w_4(t, x))^T, U = (u(t, x), u(t, S_1 x), u(t, S_2 x), u(t, S_3 x))^T, \\ V &= \begin{pmatrix} v_{1,1} & v_{1,2} & v_{1,3} & v_{1,4} \\ v_{2,1} & v_{2,2} & v_{2,3} & v_{2,4} \\ v_{3,1} & v_{3,2} & v_{3,3} & v_{3,4} \\ v_{4,1} & v_{4,2} & v_{4,3} & v_{4,4} \end{pmatrix} \equiv \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

It is easy to show that $V^{-1} = \frac{1}{4}V$. Hence, $W = VU \Rightarrow U = \frac{1}{4}VW$, which is the same as

$$\begin{aligned} u(t, x) &= \frac{1}{4} [w_1(t, x) + w_2(t, x) + w_3(t, x) + w_4(t, x)], \\ u(t, S_1 x) &= \frac{1}{4} [w_1(t, x) + w_2(t, x) - w_3(t, x) - w_4(t, x)], \\ u(t, S_2 x) &= \frac{1}{4} [w_1(t, x) + w_2(t, x) - w_3(t, x) - w_4(t, x)], \\ u(t, S_3 x) &= \frac{1}{4} [w_1(t, x) + w_2(t, x) - w_3(t, x) - w_4(t, x)]. \end{aligned}$$

The following assertion is valid.

Theorem 7. Let $V_j = (v_{1,j}, v_{2,j}, v_{3,j}, v_{4,j})^T$ be an eigenvector of the matrix A and ε_j – the corresponding eigenvalue and $\varepsilon_j \neq 0, j = 1, 2, 3, 4$. If functions $\tilde{F}_j(t, x)$ and $\tilde{\Phi}_j(x)$ are defined by equalities (21j) and $w_j(t, x)$ are solutions to problems (18j) - (20j), $j = 1, 2, 3, 4$, then the function

$$u(t, x) = \frac{1}{4} [w_1(t, x) + w_2(t, x) + w_3(t, x) + w_4(t, x)] \quad (22)$$

is a solution to the DP problem.

Proof. Let the functions $w_j(t, x)$ be solutions to problems (18j) - (20j), $j = 1, 2, 3, 4$. Let us construct a vector $U = \frac{1}{4}VW$ based on these functions. Then

$$U_t = \frac{1}{4}VW_t, \Delta U = \frac{1}{4}V\Delta W, A\Delta U = \frac{1}{4}AV\Delta W .$$

Hence

$$U_t - A\Delta U = \frac{1}{4}VW_t - \frac{1}{4}AV\Delta W .$$

As $AV = \varepsilon V$ и $W_t - \varepsilon\Delta W = \tilde{F}$, where $\tilde{F} = (\tilde{F}_1(t, x), \tilde{F}_2(t, x), \tilde{F}_3(t, x), \tilde{F}_4(t, x))^T$, then

$$U_t - A\Delta U = \frac{1}{4}V(W_t - \Delta W) = \frac{1}{4}V\tilde{F} .$$

As $\tilde{F} = V\bar{F}$ и $\frac{1}{4}VV = E$, then $\frac{1}{4}V\tilde{F} = \bar{F}$ and thus

$$U_t - A\Delta U = \bar{F} .$$

Hence, in particular, for the function $u(t, x)$ in (22) we get

$$u_t(t, x) - a_0\Delta u(t, x) - a_1\Delta u(t, S_1x) - a_2\Delta u(t, S_2x) - a_3\Delta u(t, S_3x) = f(t, x) ,$$

i.e., the function $u(t, x)$ satisfies equation (1). Further, as the functions $w_j(t, x), j = 1, 2, 3, 4$ satisfy conditions (20j), it is obvious that the function $u(t, x)$ satisfies conditions (3) and (4). And finally, if we denote vectors $\tilde{\Phi} = (\tilde{\varphi}_1(x), \tilde{\varphi}_2(x), \tilde{\varphi}_3(x), \tilde{\varphi}_4(x))^T$ and $\Phi = (\varphi(x), \varphi(S_1x), \varphi(S_2x), \varphi(S_3x))^T$ through $\tilde{\Phi}$ and Φ , then due to equality $\tilde{\Phi} = V\Phi$ for $U = \frac{1}{4}VW$ we get

$$U|_{t=0} = \frac{1}{4}VW|_{t=0} = \frac{1}{4}V(V\Phi) = \Phi .$$

Hence, for the function $u(t, x)$ in (22) we obtain the condition $u(0, x) = \varphi(x)$. Thus, the function $u(t, x)$ in (22) satisfies all conditions of the DP problem. The theorem is proved.

It follows from this theorem that to find a solution to the DP problem, it is sufficient to solve problems (18j) - (20j).

The following assertion is valid.

Theorem 8. Let $0 < \varepsilon_j, j = 1, 2, 3, 4, \varphi(x) \in C^2(\bar{\Pi}), F(t, x) \in C^{0,2}(\bar{Q})$ and conditions (10) and (11) are satisfied. Then the solution to the **DP** problem exists, is unique, and is represented as a series

$$u(t, x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m-1)(2n-1)}(t, \varepsilon_1) X_{(2m-1)(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m-1)2n}(t, \varepsilon_2) X_{(2m-1)2n}(x)$$

$$+ \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m(2n-1)}(t, \varepsilon_3) X_{2m(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m2n}(t, \varepsilon_4) X_{2m2n}(x) . \tag{23}$$

where

$$w_{mn}(t, \varepsilon_j) = \varphi_{mn} e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t} + \int_0^t F_{mn}(s) e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j (t-s)} ds ,$$

$$F_{mn}(t) = (F, X_{mn}) \equiv \int_{\Pi} F(t, x) X_{mn}(x) dx, \varphi_{mn} = (\varphi, X_{mn}) \equiv \int_{\Pi} \varphi(x) X_{mn}(x) dx ,$$

and $X_{mn}(x), \mu_m, \nu_n$ are determined from (13)

Proof. Let $\varphi(x) \in C^2(\bar{\Pi}), F(t, x) \in C_{t,x}^{0,2}(\bar{Q})$ and for them conditions (10) and (11) are satisfied. Let us introduce the functions

$$\tilde{\varphi}_j(x) = \sum_{i=0}^3 \nu_{j,i+1} \varphi(S_i x), \tilde{F}_j(t, x) = \sum_{i=0}^3 \nu_{j,i+1} F(t, S_i x), j = \overline{1,4} .$$

and consider problems (18_j) - (20_j), $j = 1, 2, 3, 4$.

It is obvious that for all $j = \overline{1,4}$ the inclusions $\tilde{F}_j(t, x) \in C_{t,x}^{0,2}(\bar{Q}), \tilde{\varphi}_j(x) \in C^2(\bar{\Pi})$ and conditions

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_j(0, x_2) &= \nu_{j,1} \varphi(0, x_2) + \nu_{j,2} \varphi(p, x_2) + \nu_{j,3} \varphi(0, q - x_2) + \nu_{j,4} \varphi(p, q - x_2) = 0, \\ \tilde{\varphi}_j(p, x_2) &= \nu_{j,1} \varphi(p, x_2) + \nu_{j,2} \varphi(0, x_2) + \nu_{j,3} \varphi(p, q - x_2) + \nu_{j,4} \varphi(0, q - x_2) = 0, \\ \tilde{\varphi}_j(x_1, 0) &= \nu_{j,1} \varphi(x_1, 0) + \nu_{j,2} \varphi(p - x_1, 0) + \nu_{j,3} \varphi(x_1, q) + \nu_{j,4} \varphi(p - x_1, q) = 0, \\ \tilde{\varphi}_j(x_1, q) &= \nu_{j,1} \varphi(x_1, q) + \nu_{j,2} \varphi(p - x_1, q) + \nu_{j,3} \varphi(x_1, 0) + \nu_{j,4} \varphi(p - x_1, 0) = 0 \end{aligned}$$

are satisfied.

It is shown similarly that the function $\tilde{F}_j(t, x)$ satisfies the conditions

$$\begin{aligned} \tilde{F}_j(t, 0, x_2) &= \tilde{F}_j(t, p, x_2) = 0, 0 \leq x_2 \leq q, 0 \leq t \leq T, \\ \tilde{F}_j(t, x_1, 0) &= \tilde{F}_j(t, x_1, q) = 0, 0 \leq x_1 \leq p, 0 \leq t \leq T . \end{aligned}$$

Hence, the functions $\tilde{\varphi}_j(x)$ and $\tilde{F}_j(t, x)$ satisfy all conditions of Theorem 2. Then, by the assertion of this theorem, the solution to problems (18_j) - (20_j), $j = 1, 2, 3, 4$, from the class W exists, is unique, and can be represented as a series

$$w_j(t, x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{mn}^j(t) X_{mn}(x), j = 1, 2, 3, 4 , \tag{24}$$

where

$$w_{mn}^j(t) = \varphi_{mn}^j e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t} + \int_0^t F_{mn}^j(s) e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j (t-s)} ds ,$$

$$F_{mn}^j(t) = (\tilde{F}_j, X_{mn}) \equiv \int_{\Pi} \tilde{F}_j(t, x) X_{mn}(x) dx, \varphi_{mn}^j = (\tilde{\varphi}_j, X_{mn}) \equiv \int_{\Pi} \tilde{\varphi}_j(x) X_{mn}(x) dx$$

Further, the function $\tilde{z}(x) = z(S_j x)$ satisfies the equality

$$\int_{\Pi} \tilde{z}(x) X_{mn}(x) dx = \int_{\Pi} z(S_j x) X_{mn}(x) dx = \int_{\Pi} z(x) X_{mn}(S_j x) dx$$

As

$$\begin{aligned} X_{mn}(S_1 x) &= X_{mn}(p - x_1, x_2) = \frac{2}{\sqrt{pq}} \sin \mu_m(p - x_1) \sin \nu_n x_2 = (-1)^{m+1} \frac{2}{\sqrt{pq}} \sin \mu_m x_1 \sin \nu_n x_2 = (-1)^{m+1} X_{mn}(x) \\ X_{mn}(S_2 x) &= X_{mn}(x_1, q - x_2) = \frac{2}{\sqrt{pq}} \sin \mu_m x_1 \sin \nu_n(q - x_2) = (-1)^{n+1} \frac{2}{\sqrt{pq}} \sin \mu_m x_1 \sin \nu_n x_2 = (-1)^{n+1} X_{mn}(x) \\ X_{mn}(S_3 x) &= X_{mn}(p - x_1, q - x_2) = (-1)^{m+n} \frac{2}{\sqrt{pq}} \sin \mu_m x_1 \sin \nu_n x_2 = (-1)^{m+n} X_{mn}(x) \end{aligned}$$

then for coefficients φ_{mn}^j we get

$$\begin{aligned} \varphi_{mn}^j &= (\tilde{\varphi}_j, X_{mn}) \equiv \int_{\Pi} \left(\sum_{i=0}^3 v_{j,i+1} \varphi(S_i x) \right) X_{mn}(x) dx = \sum_{i=0}^3 v_{j,i+1} \int_{\Pi} \varphi(S_i x) X_{mn}(x) dx \\ &= \sum_{i=0}^3 v_{j,i+1} \int_{\Pi} \varphi(x) X_{mn}(S_i x) dx = (v_{j,1} + (-1)^{m+1} v_{j,2} + (-1)^{n+1} v_{j,3} + (-1)^{m+n} v_{j,4}) \int_{\Pi} \varphi(x) X_{mn}(x) dx \end{aligned}$$

Further, using the values $v_{ji}, i, j = 1, 2, 3, 4$, for all $m, n = 1, 2, \dots$, we get,

$$\varphi_{mn}^1 = (1 + (-1)^{m+1} + (-1)^{n+1} + (-1)^{m+n}) \varphi_{mn} = \begin{cases} 4\varphi_{(2k+1)(2l+1)}, m = 2k + 1, n = 2l + 1 \\ 0, \text{ other } m, n \end{cases}, \quad (25)$$

$$\varphi_{mn}^2 = (1 + (-1)^{m+1} - (-1)^{n+1} - (-1)^{m+n}) \varphi_{mn} = \begin{cases} 4\varphi_{(2k+1)2l}, m = 2k + 1, n = 2l, \\ 0, \text{ other } m, n \end{cases}, \quad (26)$$

$$\varphi_{mn}^3 = (1 - (-1)^{m+1} + (-1)^{n+1} - (-1)^{m+n}) \varphi_{mn} = \begin{cases} 4\varphi_{2k(2l+1)}, m = 2k, n = 2l + 1, \\ 0, \text{ other } m, n \end{cases}, \quad (27)$$

$$\varphi_{mn}^4 = (1 - (-1)^{m+1} - (-1)^{n+1} + (-1)^{m+n}) \varphi_{mn} = \begin{cases} 4\varphi_{2k2l}, m = 2k, n = 2l, \\ 0, \text{ other } m, n \end{cases}. \quad (28)$$

The coefficients $F_{mn}^j(t)$ satisfy similar conditions. Then, series (24) will be written as

$$w_1(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m-1)(2n-1)}(t, \varepsilon_1) X_{(2m-1)(2n-1)}(x),$$

$$w_2(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m+1)2n}(t, \varepsilon_2) X_{(2m+1)2n}(x),$$

$$w_3(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m(2n-1)}(t, \varepsilon_3) X_{2m(2n+1)}(x) ,$$

$$w_4(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m2n}(t, \varepsilon_4) X_{2m2n}(x) ,$$

where

$$w_{mn}(t, \varepsilon_j) = \varphi_{mn} e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t} + \int_0^t F_{mn} e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j (t-s)} ds$$

Substituting the obtained expressions into equality (22) for the solution of the DP problem, we obtain the representation (23). The theorem is proved.

4. Investigation of the inverse problem.

In this section, we consider the inverse problem.

Let $g(t) = 1$, and functions $\varphi(x)$ and $\psi(x)$ belong to the class $C^4(\bar{\Pi})$ and satisfy conditions (14). Using these functions, we construct $\tilde{\varphi}_j(x), \tilde{\psi}_j(x)$:

$$\tilde{\varphi}_j(x) = v_{1j}\varphi(x) + v_{2j}\varphi(S_1x) + v_{3j}\varphi(S_2x) + v_{4j}\varphi(S_3x) , \tag{29}$$

$$\tilde{\psi}_j(x) = v_{1j}\psi(x) + v_{2j}\psi(S_1x) + v_{3j}\psi(S_2x) + v_{4j}\psi(S_3x), j = 1, 2, 3, 4 . \tag{30}$$

For the unknown function $f(x)$, we construct the function

$$\tilde{f}_j(x) = v_{1j}f(x) + v_{2j}f(S_1x) + v_{3j}f(S_2x) + v_{4j}f(S_3x), j = 1, 2, 3, 4$$

and consider the problem of determining a pair of functions $\{w_j(t, x), \tilde{f}_j(x)\}$ satisfying the conditions

$$\frac{\partial w_j(t, x)}{\partial t} = \varepsilon_j \Delta w_j(t, x) + \tilde{f}_j(x), (t, x) \in Q \tag{31j}$$

$$w_j(0, x) = \tilde{\varphi}_j(x), x \in \bar{\Pi}, w_j(T, x) = \tilde{\psi}_j(x), x \in \bar{\Pi} , \tag{32j}$$

$$\begin{aligned} w_j(t, 0, x_2) = w_j(t, p, x_2) = 0, 0 \leq t \leq T, 0 \leq x_2 \leq q; \\ w_j(t, x_1, 0) = w_j(t, x_1, q) = 0, 0 \leq t \leq T, 0 \leq x_1 \leq p \end{aligned} . \tag{33j}$$

Note that if a function $z(x)$ belongs to the class $C^4(\bar{\Pi})$ and satisfies conditions (14), then the functions

$$\tilde{z}(x) = v_{1j}z(x) + v_{2j}z(S_1x) + v_{3j}z(S_2x) + v_{4j}z(S_3x), j = 1, 2, 3, 4$$

also belong to the class $C^4(\bar{\Pi})$ and by virtue of the equalities

$$z_{x_1x_1}(x_1, x_2) = z_{x_1x_1}(p - x_1, x_2), z_{x_2x_2}(x_1, x_2) = z_{x_1x_1}(x_1, q - x_2)$$

satisfy conditions (14).

Therefore, the functions $\tilde{\Phi}_j(x), \tilde{\Psi}_j(x)$ belong to the class $C^4(\bar{\Pi})$ and satisfy conditions (14).

Therefore, by the assertion of Theorem 4, the solution to problem (31j) - (33j) exists, is unique and is represented in the form

$$w_j(t, x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{mn}^{(j)}(t) X_{mn}(x), \tag{34}$$

$$f_j(x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{mn}^{(j)}(t) X_{mn}(x), \tag{35}$$

where

$$f_{mn}^{(j)} = \mu_{mn}^2 \varepsilon_j \left(\frac{\Psi_{mn}^{(j)}}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}} - \frac{e^{-(\varepsilon_j \mu_{mn})^2 t_0} \Phi_{mn}^{(j)}}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}} \right), \tag{36}$$

$$w_{mn}^{(j)}(t) = \frac{e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t} - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}} \Phi_{mn}^{(j)} + \frac{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t}}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}} \Psi_{mn}^{(j)}, \tag{37}$$

$$\Phi_{mn}^{(j)} = (\varphi_j, X_{mn}), \Psi_{mn}^{(j)} = (\psi_j, X_{mn}).$$

Let us show that the pair of functions $\{u(t, x), f(x)\}$ defined by the equalities

$$u(t, x) = \frac{1}{4} [w_1(t, x) + w_2(t, x)w_3(t, x) + w_4(t, x)], \tag{38}$$

$$f(x) = \frac{1}{4} [\tilde{f}_1(x) + \tilde{f}_2(x) + \tilde{f}_3(x) + \tilde{f}_4(x)] \tag{39}$$

will be a solution to the IP problem in the case $g(t) = 1$.

Indeed, if functions $w_j(t, x)$ and $\tilde{f}_j(x)$ are solutions to problems (31j) - (33j), then for vectors

$$W = (w_1(t, x), w_2(t, x), w_3(t, x), w_4(t, x))^T, \tilde{f} = (\tilde{f}_1(x), \tilde{f}_2(x), \tilde{f}_3(x), \tilde{f}_4(x))^T$$

the equality $W_t - \varepsilon \Delta W = \tilde{f}$ is satisfied. Consider the vectors $U = \frac{1}{4} VW, \bar{f} = \frac{1}{4} V\tilde{f}$. Then

$$U_t - A \Delta U = \frac{1}{4} VW_t - \frac{1}{4} AV \Delta W = \frac{1}{4} VW_t - \frac{1}{4} \varepsilon V \Delta W = \frac{1}{4} V(W_t - \varepsilon \Delta W) = \frac{1}{4} V\tilde{f} = \bar{f}$$

If we introduce the notation $F = (f(x), f(S_1x), f(S_2x), f(S_3x))^T$, then from equalities

$$\tilde{f}_j(x) = v_{1j} f(x) + v_{2j} f(S_1x) + v_{3j} f(S_2x) + v_{4j} f(S_3x), j = 1, 2, 3, 4,$$

it follows that $\tilde{f} = VF$. Therefore, $\frac{1}{4} V\tilde{f} = \frac{1}{4} VVF = F$, i.e., $\bar{f} = F$. Hence,

$$U_t - A\Delta U = F .$$

In particular, for functions $u(t, x)$ and $f(x)$ we obtain the equality

$$u_t(t, x) - a_0\Delta u(t, S_0x) - a_1\Delta u(t, S_1x) - a_2\Delta u(t, S_2x) - a_3\Delta u(t, S_3x) = f(x), (t, x) \in Q ,$$

i.e., the pair of functions $\{u(t, x), f(x)\}$ satisfies equation (1) in the case $g(t) = 1$.

That conditions (2) and (3) are satisfied is checked in the same way as in the case of the direct problem. Indeed, for $t = 0$ we have $U|_{t=0} = \frac{1}{4}VW|_{t=0} = \frac{1}{4}V\tilde{\Phi}$, where $\tilde{\Phi}$ is used to denote the vector $\tilde{\Phi} = (\tilde{\varphi}_1(x), \tilde{\varphi}_2(x), \tilde{\varphi}_3(x), \tilde{\varphi}_4(x))^T$. The structure of functions $\tilde{\varphi}_j(x)$ is determined by equalities (29) and, therefore, the vector equality $\tilde{\Phi} = V\Phi$ holds where $\Phi = (\varphi(x), \varphi(S_1x), \varphi(S_2x), \varphi(S_3x))^T$. Therefore, $\frac{1}{4}V\tilde{\Phi} = \frac{1}{4}VV\Phi = \Phi$. Hence, for functions $u(t, x)$ we get the equality $u(0, x) = \varphi(x)$. Fulfillment of the condition $u(T, x) = \psi(x)$ is proved in a similar way. And finally, due to the fulfillment of conditions (33j), the function $u(t, x)$ from equality (38) also satisfies the boundary conditions (3).

Now, we can find the explicit form of the functions $u(t, x)$ and $f(x)$. To do this, we substitute expressions from (34) - (37) into the right-hand side of equalities (38) and (39).

For coefficients $\Phi_{mn}^{(j)} = (\varphi_j, X_{mn})$ equalities (25)–(28) are satisfied. Similar equalities are also valid for coefficients $\Psi_{mn}^{(j)} = (\psi_j, X_{mn})$. Then

$$w_1(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m-1)(2n-1)}(t, \varepsilon_1) X_{(2m-1)(2n-1)}(x) ,$$

$$w_2(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m-1)2n}(t, \varepsilon_2) X_{(2m-1)2n}(x) ,$$

$$w_3(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m(2n-1)}(t, \varepsilon_3) X_{2m(2n-1)}(x) ,$$

$$w_4(t, x) = 4 \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m2n}(t, \varepsilon_4) X_{2m2n}(x) ,$$

where

$$w_{mn}(t, \varepsilon_j) = \frac{e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t} - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}} \Phi_{mn} + \frac{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t}}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \varepsilon_j t_0}} \Psi_{mn}$$

Hence, for the function $u(t, x)$ we get the representation

$$u(t, x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m-1)(2n-1)}(t, \varepsilon_1) X_{(2m-1)(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{(2m-1)2n}(t, \varepsilon_2) X_{(2m-1)2n}(x)$$

$$+ \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m(2n-1)}(t, \epsilon_3) X_{2m(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} w_{2m2n}(t, \epsilon_4) X_{2m2n}(x) . \tag{40}$$

After similar calculations for functions $f(x)$, we obtain the representation

$$f(x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{(2m-1)(2n-1)}(\epsilon_1) X_{(2m-1)(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{(2m-1)2n}(\epsilon_2) X_{(2m-1)2n}(x) \\ + \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{2m(2n+1)}(\epsilon_3) X_{2m(2n+1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{2m2n}(\epsilon_4) X_{2m2n}(x) , \tag{41}$$

where

$$f_{mn}(\epsilon_j) = \mu_{mn}^2 \epsilon_j \left(\frac{1}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \epsilon_j t_0}} \Psi_{mn} - \frac{e^{-\mu_{mn}^2 \epsilon_j t_0}}{1 - e^{-\mu_{mn}^2 \epsilon_j t_0}} \Phi_{mn} \right), j = 1, 2, 3, 4.$$

Thus, we have proved the following assertion.

Theorem 9. Let $0 < \epsilon_j, j = 1, 2, 3, 4, g(t) = 1$. If functions $\varphi(x)$ and $\psi(x)$ satisfy conditions (14), then the solution to the IP problem exists, is unique, and can be represented in the form (40) and (41).

The following assertion is proved in a similar way.

Theorem 10. Let $0 < \epsilon_j, j = 1, 2, 3, 4, g(t) \neq 1, g(t) \in C[0, T]$ and $|g(t)| \geq g_0 > 0$. If functions $\varphi(x)$ and $\psi(x)$ satisfy conditions (14), then the solution to the IP problem exists, is unique, and can be represented as series

$$u(t, x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} g_{(2m-1)(2n-1)}(\epsilon_1) X_{(2m-1)(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} g_{(2m-1)2n}(\epsilon_2) X_{(2m-1)2n}(x) \\ + \sum_{m,n=1}^{\infty} g_{2m(2n-1)}(\epsilon_3) X_{2m(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} g_{2m2n}(\epsilon_4) X_{2m2n}(x)$$

and

$$f(x) = \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{(2m-1)(2n-1)}(\epsilon_1) X_{(2m-1)(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{(2m-1)2n}(\epsilon_2) X_{(2m-1)2n}(x) \\ + \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{2m(2n-1)}(\epsilon_3) X_{2m(2n-1)}(x) + \sum_{m,n=1}^{\infty} f_{2m2n}(\epsilon_4) X_{2m2n}(x) ,$$

where

$$g_{mn}(\epsilon_j) = \left(1 - \frac{g_{mn}(t)}{g_{mn}(t_0)} \right) e^{-\mu_{mn}^2 \epsilon_j t} \Phi_{mn} + \frac{g_{mn}(t)}{g_{mn}(t_0)} \Psi_{mn} , \\ f_{mn}(\epsilon_j) = \frac{1}{g_{mn}(t_0)} \left(\Psi_{mn} - \Phi_{mn} e^{-\mu_{mn}^2 \epsilon_j t_0} \right), j = 1, 2, 3, 4 .$$

In this case, the coefficients $g_{mn}(t)$ are determined by the equalities

$$g_{mn}(t) = \int_0^t g(s) e^{-\mu_{mn}^2 \theta_{mn}(t-s)} ds.$$

where

$$\theta_{mn} = \begin{cases} \varepsilon_1, m = 2i - 1, n = 2k - 1 \\ \varepsilon_2, m = 2i - 1, n = 2k \\ \varepsilon_3, m = 2i, n = 2k - 1 \\ \varepsilon_4, m = 2i, n = 2k \end{cases}.$$

This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant No. AP19677926).

REFERENCES

- 1 Cabada, A.; Tojo, F.A.F. *Differential Equations with Involutions*. New York: Atlantis Press, 2015.
- 2 Karapetians N., Samko S. *Equations with Involution Operators*. Boston: Birkhäuser, 2001. 427 p. <https://doi.org/10.1007/BF01332659>
- 3 Przeworska-Rolewicz D. *Equations with transformed argument. Algebraic approach*, Amsterdam, Warsaw: PWN Elsevier, 1973.
- 4 Wiener J. *Generalized solutions of functional differential equations*, World Scientific, 1993. <https://doi.org/10.1142/1860>
- 5 Ahmad A., Ali M.; Malik S.A. Inverse problems for diffusion equation with fractional Dzherbashian-Nersesian operator. *Fract. Calc. Appl. Anal.* 2021, 24, 1899–1918.
- 6 Al-Salti, N.; Kerbal, S.; Kirane, M. Initial-boundary value problems for a time-fractional differential equation with involution perturbation. *Math. Model. Nat. Phenom.* 2019, 14, 315. <https://doi.org/10.1051/mmnp/2019014>
- 7 Ashyralyev, A.; Ibrahim, S.; Hincal, E. On stability of the third order partial delay differential equation with involution and Dirichlet condition. *Bull. Karaganda Univ. Math. Ser.* 2021, 2, 25–34. <https://doi.org/10.3390/SYM12061033>
- 8 Ashyralyev, A.; Al-Hazaimeh, H. Stability of the time-dependent identification problem for the telegraph equation with involution. *Int. J. Appl. Math.* 2022, 35, 447–459. <https://doi.org/10.12732/ijam.v35i3.7>
- 9 Baskakov, A.G.; Krishtal, I.A.; Uskova, N.B. On the spectral analysis of a differential operator with an involution and general boundary conditions. *Eurasian Math. J.* 2020, 11, 30–39.
- 10 Burlutskaya, M. Sh. Some properties of functional-differential operators with involution $n(x) = 1 - x$ and their applications. *Russ. Math.* 2021, 65, 69–76. <https://doi.org/10.32523/2077-9879-2020-11-2-30-39>
- 11 Garkavenko, G.V.; Uskova, N.B. Decomposition of linear operators and asymptotic behavior of eigenvalues of differential operators with growing potential. *J. Math. Sci.* 2020, 246, 812–827.
- 12 Granilshchikova, Y.A.; Shkalikov, A.A. Spectral properties of a differential operator with involution. *Vestn. Mosk. Univ. 1 Matematika. Mekhanika* 2022, 4, 67–71. <https://doi.org/10.3103/S0027132222040040>
- 13 Karachik, V.V.; Sarsenbi, A.M.; Turmetov, B.K. On the solvability of the main boundary value problems for a nonlocal Poisson equation. *Turk. J. Math.* 2019, 43, 1604–1625. <https://doi.org/10.3906/mat-1901-71>

14 Kritskov, L.V.; Sadybekov, M.A.; Sarsenbi, A.M. Properties in L_p of root functions for a nonlocal problem with involution. *Turk. J. Math.* 2019, 43, 393–401. <https://doi.org/10.3906/mat-1809-12>

15 Turmetov, B.; Karachik, V.; Muratbekova, M. On a Boundary Value Problem for the Biharmonic Equation with Multiple Involutions. *Mathematics* 2021, 9, 2020. <https://doi.org/10.3390/math9172020>

16 Yarka, U.; Fedushko, S.; Vesely', P. The Dirichlet problem for the perturbed elliptic equation. *Mathematics* 2020, 8, 2108.

17 Kirane, M.; Sadybekov, M.A.; Sarsenbi, A.A. On an inverse problem of reconstructing a subdiffusion process from nonlocal data. *Math. Methods Appl. Sci.* 2019, 42, 2043–2052. <https://doi.org/10.1002/mma.5498>

18 Mussirepova T., Sarsenbi A.A., Sarsenbi A.V. The inverse problem for the heat equation with reflection of the argument and with a complex coefficient. *Bound. Value Probl.* 2022, 99, 1–13. <https://doi.org/10.1002/mma.5498>

19 Roumaissa, S.; Nadjib, B.; Faouzia, R. A variant of quasi-reversibility method for a class of heat equations with involution perturbation. *Math. Methods Appl. Sci.* 2021, 44, 11933–11943. <https://doi.org/10.1002/mma.6780>

20 Sadybekov, M.; Dildabek, G.; Ivanova, M. Direct and inverse problems for nonlocal heat equation with boundary conditions of periodic type. *Bound. Value Probl.* 2022, 53, 1–24. <https://doi.org/10.1186/s13661-022-01632-y>

21 Sabitov K.B., Zainullov A.R. “Inverse problems for a two-dimensional heat equation with unknown right-hand side”, *Russian Math. (Iz. VUZ)*, 65:3 (2021), 75–88 <https://doi.org/10.3103/S1066369X21030087>

**М. М. МОЛДАБЕКОВ¹, А. С. СУХЕНКО¹, Е. Е. ОРАЗАЛЫР,
А. Е. АДЕН^{2*}**

¹Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан;

²Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева,
Алматы, Казахстан.

e-mail: *a.aden@aues.kz

НЕОБХОДИМЫЕ И ДОСТАТОЧНЫЕ УСЛОВИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ АСИМПТОТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ СПУТНИКА

В статье изложены результаты исследования устойчивости нелинейной системы управления ориентацией спутника (СУОС) на основе представления уравнений ее динамики в виде линейной системы дифференциальных уравнений с переменными во времени параметрами. Получены необходимые и достаточные условия глобальной асимптотической устойчивости СУОС и показано, что область ее глобальной асимптотической устойчивости в пространстве параметров закона управления зависит от начальных условий по угловым скоростям спутника и маховиков.

Ключевые слова: спутник, система управления ориентацией, динамика, асимптотическая устойчивость.

**М. М. МОЛДАБЕКОВ¹, А. С. СУХЕНКО¹, Е. Е. ОРАЗАЛЫР,
Ә. Е. ӘДЕН^{2*}**

¹Ғарыштық техника және технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

²Ғ. Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті,
Алматы, Қазақстан.

e-mail: *a.aden@aues.kz

СПУТНИКТИҢ БАҒДАРЫН БАСҚАРУДЫҢ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЖҮЙЕСІНІҢ ҒАЛАМДЫҚ АСИМПТОТИКАЛЫҚ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНЫҢ ҚАЖЕТТІ ЖӘНЕ ЖЕТКІЛІКТІ ШАРТТАРЫ

Мақалада уақыт параметрлері айнымалы дифференциалдық теңдеулердің сызықтық жүйесі түрінде оның динамикасының теңдеулерін ұсыну негізінде спутниктің бағдарын басқарудың (СББЖ) сызықтық емес жүйесінің тұрақтылығын зерттеу нәтижелері келтірілген. СББЖ-ның ғаламдық асимптотикалық тұрақтылығының қажетті және жеткілікті шарттары алынды және оның басқару Заңының параметрлері кеңістігіндегі Ғаламдық асимптотикалық тұрақтылық аймағы спутник пен ұиқыштардың бұрыштық жылдамдығындағы бастапқы жағдайларға байланысты екендігі көрсетілді.

Түйін сөздер: спутник, бағытты басқару жүйесі, динамика, асимптотикалық тұрақтылық.

M. MOLDABEKOV¹, A. SUKHENKO¹, Y. ORAZALY², A. ADEN^{2*}

¹ *Institute of Space Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan;*

² *Almaty University of Power Engineering and Telecommunications named after G. Daukeyev, Almaty, Kazakhstan.
e-mail: *a.aden@aues.kz*

NECESSARY AND SUFFICIENT CONDITIONS FOR GLOBAL ASYMPTOTIC OF NONLINEAR SATELLITE ORIENTATION CONTROL SYSTEM STABILITY

The paper presents the results of a study of the stability of a nonlinear satellite attitude control system (SACS) based on the representation of the equations of its dynamics in the form of a linear system of differential equations with time-varying parameters. The necessary and sufficient conditions for the global asymptotic stability of the SACS are obtained, and it is shown that the area of its global asymptotic stability in the parameter space of the control law depends on the initial conditions for the satellite and flywheel angular velocities.

Key words: *satellite, orientation control system, dynamics, asymptotic stability.*

1. Введение. При разработке закона автоматического управления ориентацией спутников используется, как правило, PD – регулятор [1-3]. При этом динамика системы управления ориентацией спутника (СУОС) описывается нелинейными дифференциальными уравнениями, решения которых не выражаются в явном виде. В этой связи для анализа устойчивости движения СУОС используются их линеаризованные уравнения динамики [1,4,5].

Очевидным недостатком использования линеаризованных уравнений движения является то, что они описывают динамику СУОС приближенно. При этом в процессе анализа динамики системы управления не решается вопрос о глобальной асимптотической устойчивости исходной системы нелинейных уравнений, так как из теории устойчивости известно [6], что из асимптотической устойчивости линеаризованной системы следует локальная асимптотическая устойчивость исходной нелинейной системы, но не следует ее глобальная асимптотическая устойчивость.

В работах [2,5] приводятся результаты по исследованию асимптотической устойчивости нелинейной системы с использованием второго метода Ляпунова, но как известно [6], второй метод Ляпунова дает достаточные условия устойчивости нелинейной системы, но не дает необходимых условий ее устойчивости.

В работе [7] изложены результаты исследования динамики СУОС с PD – регулятором, кинематика которой описывается в углах поворота вокруг осей координат. Показано, что на основе теоремы об изменении кинетического момента механической системы, приведенной в работах [8], нелинейные уравнения динамики СУОС могут быть представлены в виде линейной системы дифференциальных уравнений с переменными во времени параметрами.

В данной статье получены необходимые и достаточные условия глобальной асимптотической устойчивости нелинейной СУОС, кинематика которой описывается уравнениями в кватернионах, на основе использования уравнений ее движения в

виде линейной системы дифференциальных уравнений с переменными во времени параметрами.

2. Математическая модель системы управления ориентацией спутника. Для описания ориентации спутника введем следующие системы координат и их обозначения (Рисунок 1): $OXYZ$ – неподвижная инерциальная система координат (ИСК), начало которой находится в центре масс Земли (точка O), ось OX лежит в экваториальной плоскости и направлена в точку весеннего равноденствия, ось OY совпадает с осью вращения Земли и направлена на северный полюс Земли, ось OZ дополняет систему до правой; $Sxyz$ – подвижная связанная система координат (ССК), начало которой находится в центре масс спутника (точка C), оси данной системы координат совпадают с главными центральными осями инерции спутника.

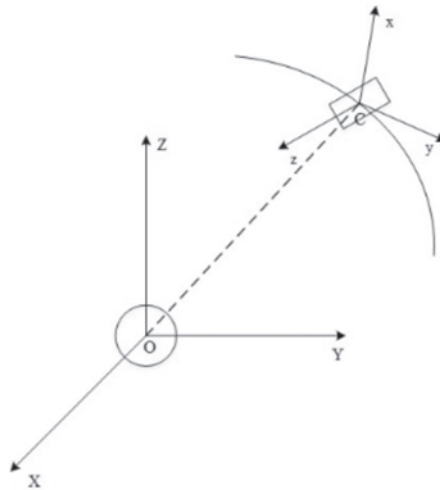


Рисунок 1 – Системы координат

Исходная нелинейная система дифференциальных уравнений вращательного движения СУОС при описании кинематики вращательного движения спутника кватернионами имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{\lambda}_1 = \frac{1}{2}[(1 - \hat{\lambda}_0)\omega_1 - \lambda_3\omega_2 + \lambda_2\omega_3] \\ \dot{\omega}_1 = \frac{1}{J_1}[-h_1\omega_1 - \alpha_1\lambda_1 + (J_2 - J_3)\omega_2\omega_3 + J_{m2}\omega_{m2}\omega_3 - J_{m3}\omega_{m3}\omega_2] \\ \dot{\lambda}_2 = \frac{1}{2}[\lambda_3\omega_1 + (1 - \hat{\lambda}_0)\omega_2 - \lambda_1\omega_3] \\ \dot{\omega}_2 = \frac{1}{J_2}[-h_2\omega_2 - \alpha_2\lambda_2 + (J_3 - J_1)\omega_1\omega_3 + J_{m3}\omega_{m3}\omega_1 - J_{m1}\omega_{m1}\omega_3] \\ \dot{\lambda}_3 = \frac{1}{2}[-\lambda_2\omega_1 + \lambda_1\omega_2 + (1 - \hat{\lambda}_0)\omega_3] \\ \dot{\omega}_3 = \frac{1}{J_3}[-h_3\omega_3 - \alpha_3\lambda_3 + (J_1 - J_2)\omega_1\omega_2 + J_{m1}\omega_{m1}\omega_2 - J_{m2}\omega_{m2}\omega_1] \end{cases} \quad (1)$$

где $J = \{J_1, J_2, J_3\}$ – диагональная (3x3) матрица тензора инерции спутника; J_1, J_2, J_3 – главные центральные моменты инерции спутника; $\vec{\omega} = (\omega_1, \omega_2, \omega_3)^T$ – вектор абсо-

лютой угловой скорости спутника в проекциях на оси ССК; $J_m = \{J_{m1}, J_{m2}, J_{m3}\}$ – диагональная (3x3) - матрица тензора инерции маховиков; J_{m1}, J_{m2}, J_{m3} – моменты инерции маховиков, установленных вдоль осей x, y, z соответственно; $\vec{\omega}_m = (\omega_{m1}, \omega_{m2}, \omega_{m3})^T$ – вектор угловых скоростей маховиков; $\lambda_i = \lambda_i(t), (i = \overline{0,3})$ – параметры Родрига-Гамильтона кватерниона $\Lambda(t)$ [9], т.е. $\Lambda = \lambda_0 + \lambda_1 \bar{1}_1 + \lambda_2 \bar{1}_2 + \lambda_3 \bar{1}_3, \bar{1}_1, \bar{1}_2, \bar{1}_3,$ – единичные орты базиса I в ИСК; $\lambda_0(t) = 1 - \hat{\lambda}_0(t), \dot{\lambda}_0(t) = -\dot{\hat{\lambda}}_0(t); h_i, \alpha_i, (i = \overline{1,3})$ – неизвестные произвольные параметры закона управления, которые должны быть определены из условий устойчивости движения и обеспечения требуемых характеристик переходного процесса ориентации спутника; параметры кватерниона $\Lambda(t)$ удовлетворяют условию связи между ними: $\lambda_0^2 + \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 = 1$.

Преобразуя систему нелинейных уравнений вращательного движения СУОС (1) в линейную систему дифференциальных уравнений с переменными во времени параметрами по методике, изложенной в работе [7], получим:

$$\dot{X} = [A + C^0 + L(t)]X, \tag{2}$$

где $X = (x_1, \dots, x_6)^T \equiv (\lambda_1, \omega_1, \lambda_2, \omega_2, \lambda_3, \omega_3)^T, A + C^0 + L(t)$ – сумма (6x6)-матриц, элементы которых имеют постоянные или переменные во времени t слагаемые:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\alpha_1}{J_1} & -\frac{h_1}{J_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{\alpha_2}{J_2} & -\frac{h_2}{J_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{\alpha_3}{J_3} & -\frac{h_3}{J_3} \end{bmatrix}$$

$$C^0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{C_{I3}^0}{J_1} & 0 & \frac{C_{I2}^0}{J_1} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{C_{I3}^0}{J_2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{C_{I1}^0}{J_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{C_{I2}^0}{J_3} & 0 & \frac{C_{I1}^0}{J_3} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$L(t) = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\hat{\lambda}_0(t)}{2} & 0 & -\frac{\lambda_3(t)}{2} & 0 & \frac{\lambda_2(t)}{2} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{B_3(t)}{J_1} & 0 & \frac{B_2(t)}{J_1} \\ 0 & \frac{\lambda_3(t)}{2} & 0 & -\frac{\hat{\lambda}_0(t)}{2} & 0 & -\frac{\lambda_1(t)}{2} \\ 0 & \frac{B_3(t)}{J_2} & 0 & 0 & 0 & -\frac{B_1(t)}{J_2} \\ 0 & -\frac{\lambda_2(t)}{2} & 0 & \frac{\lambda_1(t)}{2} & 0 & -\frac{\hat{\lambda}_0(t)}{2} \\ 0 & -\frac{B_2(t)}{J_3} & 0 & \frac{B_1(t)}{J_3} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$C_{ii}^0 (i = \overline{1,3})$ проекции кинетического момента спутника на оси ИСК; $B_i(t)$ – билинейные функции от $\lambda_i = \lambda_i(t), (i = \overline{0,3})$.

3. Асимптотические свойства кинетического момента спутника. Утверждение 1. Если тривиальное решение нелинейной системы уравнений (2) асимптотически устойчиво по Ляпунову, т.е. углы поворота подвижной ССК относительно ИСК стремятся к нулю

$$\lambda_0(t) \rightarrow 1, \lambda_i(t) \rightarrow 0, (i = \overline{1,3}) \text{ при } t \rightarrow \infty$$

или

$$\hat{\lambda}_0 \rightarrow 0, \lambda_i(t) \rightarrow 0, (i = \overline{1,3}) \text{ при } t \rightarrow \infty,$$
(3)

то для проекций кинетического момента спутника на оси подвижной ССК, выражаемых как

$$C_i(t) = C_{ii}^0 + B_i(t), (i = \overline{1,3}), t \in [t_0, \infty],$$
(4)

имеют место предельные условия:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} B_i(t) = 0, (i = \overline{1,3}).$$
(5)

Доказательство:

Представление проекций кинетического момента спутника на оси подвижной ССК в компактной форме (4) имеет вид:

$$C_{Ei}(t) = C_{ii}^0 + \sum_{j=1}^3 b_{ij}(t)C_{ij}^0 = C_{ij}^0 + B_i(t), (i = \overline{1,3}),$$
(6)

где

$$\left. \begin{aligned} a_{11}(t) &= 1 - 2\hat{\lambda}_0(t) + \hat{\lambda}_0^2(t) + \lambda_1^2(t) - \lambda_2^2(t) - \lambda_3^2(t) = 1 + b_{11}(t); \\ a_{22}(t) &= 1 - 2\hat{\lambda}_0(t) + \hat{\lambda}_0^2(t) + \lambda_2^2(t) - \lambda_1^2(t) - \lambda_3^2(t) = 1 + b_{22}(t); \\ a_{33}(t) &= 1 - 2\hat{\lambda}_0(t) + \hat{\lambda}_0^2(t) + \lambda_3^2(t) - \lambda_1^2(t) - \lambda_2^2(t) = 1 + b_{33}(t); \\ a_{12}(t) &= 2[\lambda_1(t)\lambda_2(t) - (1 - \hat{\lambda}_0(t))\lambda_3(t)] = b_{12}(t); \\ a_{13}(t) &= 2[\lambda_1(t)\lambda_3(t) + (1 - \hat{\lambda}_0(t))\lambda_2(t)] = b_{13}(t); \\ a_{21}(t) &= 2[\lambda_1(t)\lambda_2(t) + (1 - \hat{\lambda}_0(t))\lambda_3(t)] = b_{21}(t); \\ a_{23}(t) &= 2[\lambda_2(t)\lambda_3(t) - (1 - \hat{\lambda}_0(t))\lambda_1(t)] = b_{23}(t); \\ a_{31}(t) &= 2[\lambda_1(t)\lambda_3(t) - (1 - \hat{\lambda}_0(t))\lambda_2(t)] = b_{31}(t); \\ a_{32}(t) &= 2[\lambda_2(t)\lambda_3(t) + (1 - \hat{\lambda}_0(t))\lambda_1(t)] = b_{32}(t). \end{aligned} \right\}$$
(7)

Отсюда, если тривиальное решение системы уравнений (2) асимптотически устойчиво, т.е. имеют место условия (3), то из выражений (7) следует, что $b_{ij}(t) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty (i, j = \overline{1,3}), t \in [t_0, \infty]$ и, соответственно, условия (5) выполнены.

4. Необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости системы управления ориентацией спутника. Прежде всего, покажем, что задачу об асимптотической устойчивости нелинейной системы (1) можно свести к задаче об

асимптотической устойчивости однородной линейной системы дифференциальных уравнений с постоянными элементами, получаемой из линейной системы (2).

Утверждение 2: для того, чтобы нелинейная система (1) была асимптотически устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы была асимптотически устойчивой линейная однородная система дифференциальных уравнений с постоянными элементами матрицы:

$$\dot{X} = [A + C^0]X \quad (8)$$

и было выполнено условие

$$\lim_{t \rightarrow \infty} L(t) = 0 \quad (9)$$

Доказательство:

Достаточность. Действительно, согласно теореме 2, гл.2, п.12 [6], если выполнено условие (9) и линейная система с постоянными элементами матрицы вида (8) асимптотически устойчива, то возмущенная линейная система с переменными параметрами (2) также асимптотически устойчива. Отсюда в силу эквивалентности возмущенной линейной системы (2) и нелинейной системы уравнений (1) следует, что последняя также асимптотически устойчива.

Необходимость. Если нелинейная система (1) асимптотически устойчива, то в силу эквивалентности этой системы и возмущенной линейной системы (2) последняя также асимптотически устойчива. При этом выполняется условие (9) и система с постоянными параметрами (8) асимптотически устойчива, так как постоянные элементы ее матрицы равны предельным значениям переменных элементов матрицы возмущенной линейной системы (2), т.е. $A + C^0 = \lim_{t \rightarrow \infty} [A + C^0 + L(t)]$.

Следствие 1: Если нелинейная система (1) асимптотически устойчива, то она глобально асимптотически устойчива, так как согласно работе [6], если линейная система с постоянными параметрами (8) асимптотически устойчива, то она также глобально асимптотически устойчива.

Следствие 2: Область глобальной асимптотической устойчивости нелинейной системы (1) в пространстве параметров закона управления можно найти по условиям асимптотической устойчивости линейной системы с постоянными параметрами (8).

Как известно [6], устойчивость системы ориентации спутника, описываемой системой линейных дифференциальных уравнений с постоянными параметрами (8), определяется расположением корней ее характеристического уравнения:

$$\det[(A + C^0) - sE] = 0 \quad (10)$$

Распределение корней характеристического уравнения (10) определяется значениями постоянных элементов матриц A и C^0 . При этом элементы матрицы A зависят от параметров $h_i, \alpha_i (i = 1, 3)$ закона управления, а элементы матрицы C^0 определяются значениями проекций кинетического момента спутника на оси ИСК $C_{ii}^0 (i = 1, 3)$.

Таким образом, в общем случае, использование системы (8) при анализе устойчивости СУОС требует знания начальных условий по угловым скоростям спутника и маховиков, так как постоянные элементы матрицы $C_{ii}^0 (i = 1, 3)$ системы (8) принима-

ют заранее неизвестные значения из ограниченной замкнутой области трехмерного пространства в зависимости от начальных условий по угловым скоростям спутника и маховиков.

5. Выводы

1. Исследованы асимптотические свойства кинетического момента спутника, обусловленного ненулевыми начальными условиями по угловым скоростям спутника и маховиков, в проекциях на связанную систему координат.

2. Получены необходимые и достаточные условия глобальной асимптотической устойчивости исходной нелинейной системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику системы управления ориентацией спутника.

3. Показано, что область глобальной асимптотической устойчивости системы управления ориентацией спутника в пространстве параметров закона управления зависит от начальных условий по угловым скоростям спутника и маховиков.

ЛИТЕРАТУРА

1 Doruk R.O., 2009, Linearization in satellite attitude control with modified Rodriguez parameters, *Aircraft engineering and aerospace technology: an international journal*, 81/3, 199–203.

2 Moldabekov M., Yelubayev S., Alipbayev K., Sukhenko A., Bopeyev T., Mikhailenko D. Stability analysis of the microsatellite attitude control system // *Applied mechanics and materials*. – 2015. – Vol. 798. – P. 297-302.

3 Narkiewicz J., Sochacki M., Zakrzewski B. Generic Model of a Satellite Attitude Control System // *International Journal of Aerospace Engineering*. Volume 2020, Article ID 5352019, 17 pages. <https://doi.org/10.1155/2020/5352019>.

4 Zhou B. On stability of the linearized spacecraft attitude control system, 2015. <https://arxiv.org/pdf/1504.00114.pdf>

5 Nasrolahi S.S., Abdollahi F. Lyapunov stability analysis for non-linear satellite attitude control in the presence of states measurement error // *Proc. of 2016 4th International conference on control, instrumentation and automation*, 2016. DOI: 10.1109/ICCIAutom. 2016. 7483137.

6 Демидович Б.Л. Лекции по математической теории устойчивости. Москва, Наука, 1967 – 472 с.

7 Moldabekov M., Sukhenko A., Shapovalova D., Yelubayev S. Using the linear form of equations of dynamics of satellite attitude control system for its analysis and synthesis // *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 59, 1, 2020, pp.109-120. DOI: 10.15632/jtam-pl/129071.

8 Маркеев А.П. Теоретическая механика. Москва, ЧеРо, 1999. – 572 с.

9 Бранец В.Н., Шмыглевский И.П. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела. Москва, Наука, 1973. – 329 с.

REFERENCES

1 Doruk R.O., 2009, Linearization in satellite attitude control with modified Rodriguez parameters, *Aircraft engineering and aerospace technology: an international journal*, 81/3, 199–203.

2 Moldabekov M., Yelubayev S., Alipbayev K., Sukhenko A., Bopeyev T., Mikhailenko D. Stability analysis of the microsatellite attitude control system // *Applied mechanics and materials*. – 2015. – Vol. 798. – P. 297-302.

3 Narkiewicz J., Sochacki M., Zakrzewski B. Generic Model of a Satellite Attitude Control System // *International Journal of Aerospace Engineering*. Volume 2020, Article ID 5352019, 17 pages. <https://doi.org/10.1155/2020/5352019>.

4 Zhou B. On stability of the linearized spacecraft attitude control system, 2015. <https://arxiv.org/pdf/1504.00114.pdf>

5 Nasrolahi S.S., Abdollahi F. Lyapunov stability analysis for non-linear satellite attitude control in the presence of states measurement error // Proc. of 2016 4th International conference on control, instrumentation and automation, 2016. DOI: 10.1109/ICCIAutom. 2016. 7483137.

6 Demidovich B.L. Lekcii po matematicheskoj teorii ustojchivosti. Moskva, Nauka, 1967 – 472 s.

7 Moldabekov M., Sukhenko A., Shapovalova D., Yelubayev S. Using the linear form of equations of dynamics of satellite attitude control system for its analysis and synthesis // Journal of Theoretical and Applied Mechanics. 59, 1, 2020, pp.109-120. DOI: 10.15632/jtam-pl/129071.

8 Markeev A.P. Teoreticheskaya mehanika. Moskva, CheRo, 1999. – 572 s.

9 Branec V.N., Shmyglevskij I.P. Primenenie kvaternionov v zadachah orientacii tverdogo tela. Moskva, Nauka, 1973. – 329 s.

**I. M. ORMAN¹, S. A. BORANBAYEV², I. G. KURMASHEV¹,
A. L. KARCHEVSKY^{3*}**

¹ Manash Kozybayev North Kazakhstan university, Petropavlovsk, Kazakhstan;

² L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

³ Sobolev Institute of Mathematics SB RAS, Novosibirsk, Russia.

e-mail: Indira.malikovna@mail.ru, boranbaevsa@mail.ru, ikurmashev@ku.edu.kz,

*karchevs@math.nsc.ru

GPR SOUNDING SOURCE CALIBRATION

The paper describes the process of calibrating a GPR sounding source, provides a mathematical basis for this process, and presents the results of calibration based on data measured in a sand quarry, where the electromagnetic parameters of the probed medium are known. The obtained parameter values characterizing the behavior of the source can now be considered known and used to numerically solve inverse problems to determine unknown electromagnetic parameters of the medium using algorithms that are not built into the GPR software.

Key words: GPR, source calibration, inverse problem.

**И. М. ОРМАН¹, С. А. БОРАНБАЕВ², И. Г. КУРМАШЕВ¹,
А. Л. КАРЧЕВСКИЙ^{3*}**

¹ Манап Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті,

Петропавл, Қазақстан;

² Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

³ С.Л. Соболев атындағы математика институты СБ РҒА, Новосибирск, Ресей.

e-mail: Indira.malikovna@mail.ru, boranbaevsa@mail.ru, ikurmashev@ku.edu.kz,

*karchevs@math.nsc.ru

GPR ДЫБЫС КӨЗІН КАЛИБРЛЕУ

Жұмыста GPR зондтау көзін калибрлеу процесі сипатталған, осы процестің математикалық негізі берілген және зондталатын ортаның электромагниттік параметрлері белгілі құм қарьерінде өлшенген деректер негізінде калибрлеу нәтижелері берілген. Көздің мінез-құлқын сипаттайтын алынған параметр мәндерін енді белгілі деп санауға болады және GPR бағдарламалық жасақтамасына салынбаған алгоритмдерді пайдалана отырып, ортаның белгісіз электромагниттік параметрлерін анықтау үшін кері есептерді сандық түрде шешу үшін пайдалануға болады.

Түйін сөздер: GPR, бастапқы калибрлеу, кері мәселе.

**И. М. ОРМАН¹, С. А. БОРАНБАЕВ², И. Г. КУРМАШЕВ¹,
А. Л. КАРЧЕВСКИЙ^{3*}**

¹ Северо-Казахстанский университет им. М.Козыбаева,

Петропавловск, Казахстан;

² Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилёва, Астана, Казахстан;

³ *Институт математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Новосибирск, Россия.
e-mail: Indira.malikovna@mail.ru, boranbaevsa@mail.ru, ikurmashev@ku.edu.kz,
karchevs@math.nsc.ru

КАЛИБРОВКА ИСТОЧНИКА ЗОНДИРОВАНИЯ ГЕОРАДАРА

В работе описан процесс калибровки источника зондирования георадара, приведено математическое обоснование этого процесса, приведены результаты калибровки по данным, измеренным на песочном карьере, где электромагнитные параметры зондируемой среды являются известными. Полученные значения параметров, характеризующие поведение источника, теперь могут считаться известными и использоваться для численного решения обратных задач по определению неизвестных электромагнитных параметров среды с использованием алгоритмов, которые не являются встроенными в математическое обеспечение георадара.

Ключевые слова: георадар, калибровка источника, обратная задача.

Introduction. The source was calibrated on a medium whose electromagnetic parameters were known. The work shows the possibility of determining the sounding source of GPR.

Mathematically, the problem is equivalent to solving the inverse problem of determining the right side of a differential equation.

The built-in GPR software typically uses interpretation algorithms that use the travel times of electromagnetic waves, so the exact form of the function describing the source as a function of time is not required [1,2]. If there is a wish to use other algorithms for determining the electromagnetic properties of a medium (for example, [3]), then to use them one need to know the source function with good accuracy. In addition, during operation, the GPR may get physical damage, which may lead to changes in the function of the source.

The paper proposes to determine the source by solving a direct problem in the frequency domain. The main difficulty in determining the source function is that the GPR probes the medium at several fixed time frequencies, so the image of the source function is known only for a narrow range of time frequencies. What makes solving the problem easier is that the behavior of the source function is known, and, therefore, in order to establish its form, one need to determine only a few parameters on which it depends. The solution to the differential equation in the frequency domain is written out in analytical form, and the inverse problem of determining the source is reduced to finding the minimum of a functional.

1. Mathematical basis for calibration (refinement of source shape). Let's consider a model of a medium where the electromagnetic parameters of the medium depend only on the depth z : $\{z < 0\}$ is air, $\{z > 0\}$ is medium.

Let the electromagnetic field be excited by a source of external current of the following type:

$$j(r, \phi, t) = (j_r, j_\phi, j_z)^T = (0, j_\phi, 0)^T, \quad j_\phi(r, \phi, t) = f(t)g(r)\delta(z - z_*) \quad (1)$$

where z_* is the source coordinate on the axis Oz , $z_* < 0$ (the source locates in the air) and the value z_* is quite small, and the function $g(r) = \theta(r_0 - r)$, where $r_0 > 0$ is the source parameter, $\theta(x)$ – Heaviside θ – function.

The electromagnetic field is described by Maxwell's equations. The medium is characterized by electromagnetic parameters of the medium: permittivity $\epsilon_0 \epsilon$ (ϵ_0 is permittivity of

vacuum, $\epsilon \geq 1$ is relative permittivity of medium), conductivity σ and magnetic permeability μ . The permittivity of vacuum $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ (F/m), for most geophysical media $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (H/m). In air $\epsilon = 1$ and $\sigma = 0$ ($z < 0$), in medium $\epsilon = \epsilon_m$ and $\sigma = \sigma_m$ ($z > 0$), and ϵ_m and σ_m are known constants.

Since the medium is isotropic and the source does not depend on the angle φ , the Maxwell equations can be written in a cylindrical coordinates, and the components of the electromagnetic field will not depend on the angle φ . Taking into account the type of source (1), of the six components of the electromagnetic field, three will be non-zero: E_φ , H_r and H_z (see, for example, [4]). For the component E_φ the following differential equation can be obtained:

$$\mu \epsilon_0 \epsilon E_{\varphi,tt} + \mu \sigma E_{\varphi,t} = E_{\varphi,zz} + ((1/r)(rE_\varphi)_r)_r - \mu j_{\varphi,t} \tag{2}$$

An equation for which the initial conditions, boundary conditions and gluing conditions at the air-medium boundary hold:

$$E_\varphi|_{r<0} \equiv 0, \quad E_\varphi|_{r>0} \equiv 0, \quad [E_\varphi]_0 = 0, \quad [E_{\varphi,z}]_0 = 0, \tag{3}$$

Let measurements be made on the surface $z = 0$:

$$E_\varphi|_{z=0} = \varphi(r, t), \tag{4}$$

Our goal is to determine the GPR source function (see (1)), assuming that the electromagnetic component E_φ satisfies the direct problem (2)-(3), and the additional boundary condition (4) is known. This problem will be solved in the frequency domain.

We use the Laplace and Hankel transformations:

$$u(v, z, p) = \int_0^\infty e^{-pt} \int_0^\infty r E_\varphi(r, z, t) J_1(vr) dr dt, \tag{5}$$

where $p = \alpha + i2\pi f$ is the Laplace transform parameter, α is an attenuation parameter, f is a time frequency (Hz), $J_1(r)$ is the Bessel function of 1st order.

We will use the following notation: $\varphi(v, p)$ - image for function, $\varphi(r, t)$, $f(p)$ - Laplace image for the function $f(t)$, $g(v)$ - the Hankel image for the function $g(r)$. It is easy to see [5, p. 697, # 6.561.1] that

$$g(v) = \int_0^\infty r \theta(r_0 - r) J_1(vr) dr = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{r_0}{v} (J_1(r_0v) \mathcal{H}_0(r_0v) - J_0(r_0v) \mathcal{H}_1(r_0v)),$$

where $J_n(r)$ and $\mathcal{H}_n(r)$ are Bessel and Struve functions of n -th order (see, for example, [5,6]).

The function $u(v, z, p)$ satisfies the following equation:

$$u_{zz} - (v^2 + p^2 \mu \epsilon_0 \epsilon + p \mu \sigma) u = \mu p f(p) g(v) \sigma (z - z^*), \quad z \in (-\infty, \infty). \tag{6}$$

Using solutions to equation (6) on the intervals $(-\infty, z^*)$, $(z^*, 0)$, and $(0, \infty)$, assuming decay of the solution to equation (6) at infinity, using gluing conditions at the air-medium interface point and at point z^* , going to the limit $z^* \rightarrow 0$, the following relation can be obtained:

$$-\mu p f(p) g(v) = (k_m + k_0) u(v, +0, p) = (k_m + k_0) \varphi(r, t), \tag{7}$$

Here $k_m = \sqrt{v^2 + p^2 \mu \epsilon_0 \epsilon_m + p \mu \sigma_m}$, $k_0 = \sqrt{v^2 + p^2 \mu \epsilon_0}$, $\text{Re}\{r_m\} > 0$, $\text{Re}\{r_0\} > 0$.

Using the relation (7), we can propose an algorithm for determining the source function $f(t)$. This will be described in Section 4.

2. Measurements on a known medium. Measurements were taken in a sand quarry near the village of Sabyndy, Akmola region. For measurements, we used the GPR “Loza-B”, whose operating frequencies are $f^{(1)} = 150$ and $f^{(2)} = 300$ (MHz).

Fig. 1 (a) shows a medium model.

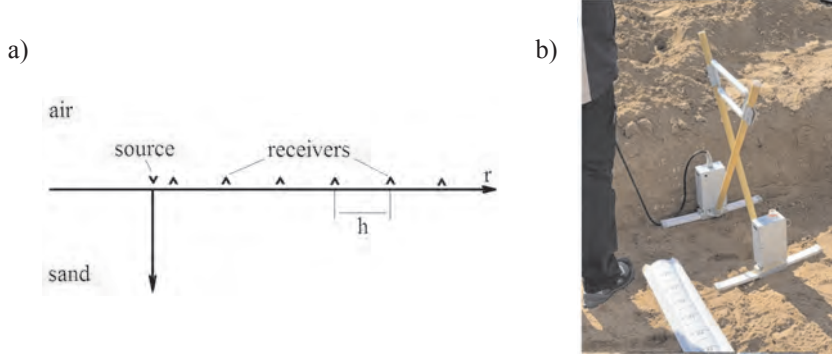


Figure 1 – (a) – Medium model and placement of the source and receivers, (b) - Taking measurements using the GPR “Loza-B” in a sand quarry.

The known medium was dry sand, the electromagnetic properties of which were characterized by relative dielectric permeability $\epsilon_m = 6$ and conductivity $\sigma_m = 0,0005$ (S/m).

Electromagnetic waves were excited by a source of the form (1), electromagnetic wave receivers were located on the surface $z = 0$ with a step $h = 0,5$ (m) and were located on the same straight line (See Fig. 1 (a)).

Fig. 1 (b) shows the measurement process using GPR.

3. Data preparation. As noted above, the receivers recorded the electromagnetic field component E_ϕ at points $(r_i, 0, t)$, $i = 1, N_r$, $t \in [0, T]$, $T = 50$ (ns). Receivers are located at points r_i (see Fig. 1 (a)), the distance between them is h . The maximum distance of the receiver L_r from the source of electromagnetic waves is at least $5z_s$, since when electromagnetic waves propagate deep into the medium, their amplitude decreases, the thickness of the skin layer is given by the formula $z_s = 1/\sqrt{\pi f \mu \sigma}$, and, consequently, the amplitude electromagnetic waves passing through the medium at this distance decreases by more than 140 times, i.e. the approximation $E_\phi(r, 0, t) = 0$ for $r \geq L_r$ is quite appropriate.

Data $E_\phi(r_i, 0, t)$ were filtered (see, for example, [7,8]).

From Kotelnikov's theorem [9] it follows that the Fourier transform frequencies used should not exceed the value of the Nyquist frequency $\nu_{max} = 1/2h$ [10]. Since the Bessel function $J_1(r)$ behaves like a damped sinusoid, the Nyquist frequency can be used to determine the maximum spatial frequency ν . From [3] it follows that ν must satisfy the inequality $\nu \leq 2\pi f \sqrt{\mu \epsilon_m}$. Therefore, we use these two inequalities to select the frequency ν for computing (5). Therefore,

$$u(\nu, z, p) = \int_0^\infty e^{-pt} \int_0^\infty r E_\phi(r, z, t) J_1(\nu r) dr dt$$

$$\approx \sum_{j=0}^{N_T} e^{-pt_j} \sum_{i=1}^{N_r} r_i E_\phi(r_i, z, t_j) J_1(\nu r_i)$$

can be calculated. The attenuation parameter α is selected from the condition $\alpha = 2z_s \sqrt{\mu \epsilon_m}$ [3], time frequencies f are selected from the intervals $[f^{(k)} - \delta, f^{(k)} + \delta]$ ($k = 1, 2$), and τ is the time step.

4. Numerical method for determining source parameters. GPR has the ability to generate sounding signals only on several time frequencies, in our case on two. This means that for each specific sounding frequency $f^{(k)}$ are used in the transformation (5) only temporary frequencies from very narrow intervals $[f^{(k)} - \delta, f^{(k)} + \delta]$ ($k = 1, 2$).

When designing an antenna that generates a probing electromagnetic signal, the manufacturer informs the GPR user about the type of source, i.e. the form of the function $f(t)$ is known. It depends on the design of the GPR and, as a rule, this function can be well approximated by a decreasing sinusoid: $Re^{-2\pi f_0 t} \sin(2\pi f_0 t)$, where f_0 is the dominant frequency (in GPR it coincides with one of the operating frequencies) and R is the source amplitude.

We use the unknown GPR source function $f(t)$ in the form $f(t) = \rho Re^{-2\pi\beta f_0 t} \sin(2\pi\gamma f_0 t)$ and its Laplace image is $f(p) = \frac{2R\pi\rho\gamma f_0}{(p - 2\pi\beta f_0)^2 + (2\pi\gamma f_0)^2}$.

It is obvious that each of the parameters ρ , β , and γ are corrective and affects the exact form of the function $f(t)$, i.e. the parameters ρ , β , and γ are responsible for calibrating the GPR source.

Using the equality (7), we define the cost function $\Phi(\rho, \beta, \gamma)$ as follows:

$$\Phi(\rho, \beta, \gamma) = \sum_{n=1}^N \left| \phi(v, p_n) + \mu g(v) \frac{p_n}{k_{m,n} + k_{0,n}} \frac{2R\pi\rho\gamma f_n}{(p - 2\pi\beta f_n)^2 + (2\pi\gamma f_n)^2} \right|^2$$

here $k_{m,n} = \sqrt{v^2 + p_n^2 \mu \epsilon_m + p_n \mu \sigma_m}$, $k_{0,n} = \sqrt{v^2 + p_n^2 \mu \epsilon_0}$, $p_n = \alpha + i2\pi f_n$, ($n = \overline{1, N}$), frequencies f_n are selected from the interval $[f^{(k)} - \delta, f^{(k)} + \delta]$ (usually with equal steps).

Thus, the problem of determining the unknown GPR source function $f(t)$ is reduced to minimizing the cost function (8) by determining the unknown parameters ρ , β , and γ .

The minimum of the cost function (8) can be found using the conjugate gradient method (see, for example, [11]). Gradient $\nabla\Phi(\rho, \beta, \gamma) = (\Phi'_\rho, \Phi'_\beta, \Phi'_\gamma)$ where

$$\Phi'_\rho = \begin{cases} 0, & \Phi(\rho + \delta_\rho, \beta, \gamma) \leq \Phi(\rho, \beta, \gamma), \\ \frac{\Phi(\rho + \delta_\rho, \beta, \gamma) - \Phi(\rho - \delta_\rho, \beta, \gamma)}{2\delta_\rho}, & \text{if } \Phi(\rho - \delta_\rho, \beta, \gamma) \leq \Phi(\rho, \beta, \gamma), \\ \text{else,} & \end{cases}$$

components $\Phi'_\beta, \Phi'_\gamma$ are calculated using similar formulas. It should be noted that formulas of the form (9) for calculating the gradient were first used in the work [12] and further confirmed their effectiveness in many works (see, for example, [3, 13-19]). Explanations of why they are built this way can be found here [20]. The step δ_ρ (and steps for calculating Φ'_β and Φ'_γ) is sought when solving the inverse problem on simulated data. The value δ_ρ is selected for which the solution to the problem of minimizing the cost function (8) is found in the

least number of iterations of the minimization process. Using our experience and experience of [3, 13-19], it can be selected as $\delta_p = 10^{-6}$.

To start solving the problem of minimizing the function (8) by searching for unknown parameters ρ , β , and γ using the conjugate gradient method, it is necessary to specify an initial approximation. These can be the following values: $\rho_{[0]} = 1$, $\beta_{[0]} = 1$, and $\gamma_{[0]} = 1$, or the values obtained during the last calibration of the source.

Remark: It depends on GPR construction, sometimes other the pulse forms can be used to model the source for the function $f(t)$: Gaussian, Ricker source (“mexican hat”), Puzyrev source and etc. In this case, the proposed mathematical algorithm will not change in any way; the change will only affect the representation for the Laplace image $f(p)$.

5. Calibration. The source is calibrated for each of the operating frequencies of GPR. Operating frequency $f^{(k)}$, operating frequency interval from which frequencies f were selected to write the function (8), their number N is given in Tab. 1. The parameters ρ , β and γ determined after practical measurements (see Fig. 1 (b)) are collected in Tab. 2

Table 1.

| k | $f^{(k)}$, (MHz) | Interval (MHz) | N |
|-----|-------------------|----------------|---|
| 1 | 150 | [130,170] | 5 |
| 2 | 300 | [280,320] | 5 |

Table 2.

| k | $f^{(k)}$, (MHz) | ρ | β | γ |
|---|-------------------|--------|---------|----------|
| 1 | 150 | 1.01 | 1.13 | 1.21 |
| 2 | 300 | 1.03 | 1.09 | 1.18 |

6. Testing. We use the found parameters ρ , β and γ (see Tab. 2). Let us determine the relative permittivity and conductivity of clayey sandy soil near the sand quarry.

The GPR data are measured and processed, setting $\alpha = 0$. From the relation (7) it follows $k_m = -k_0 - 2i\pi\mu f \frac{f(2i\pi f)g(v)}{\phi(v, 2i\pi f)}$, and in this case $\epsilon_m = \frac{v^2 - \text{Re}\{k_m^2\}}{\mu_0(2\pi f)^2}$, $\sigma_m = \frac{\text{Im}\{k_m^2\}}{\mu 2\pi f}$.

The test result is shown in Tab. 3:

Table 3

| k | $f^{(k)}$, (MHz) | permittivity of soil | restored permittivity | conductivity of soil | restored conductivity |
|-----|-------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 150 | 5.00 | 5.25 | 0.0010 | 0.0012 |
| 2 | 300 | 5.00 | 5.14 | 0.0010 | 0.0013 |

A satisfactory result was obtained for reconstructing the electromagnetic parameters of the soil.

Conclusion. The paper presents the process of calibrating the GPR source function, provides a mathematical basis for this process, and presents the results of calibration based on data measured in a sand quarry, where the electromagnetic parameters of the probed medium are known. The obtained parameter values characterizing the behavior of the source can now be considered known and used to numerically solve inverse problems to determine unknown electromagnetic parameters of the medium using algorithms that are not built into the GPR software.

Acknowledgment. The work of the 2nd author was supported within the framework of grant funding from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan 2023-2025, project: AP 19680361 “Development of computing technologies for diagnosing road pavement of highways”. The work of the 4th author was supported within the framework of the state assignment of Sobolev Institute of Mathematics SB RAS (project FWNF-2022-0009).

REFERENCES

- 1 Kopeikin V.V., *Prelomleniye voln v lineynykh sredakh s vremennoy dispersiyey* [Wave refraction in linear media with time dispersion]. Moscow, Nauka, 2009. [in Russian].
- 2 Alexandrov P.N., *Teoreticheskiye osnovy georadarnogo metoda* [Theoretical foundations of the georadar method]. Moscow, Fizmatlit, 2017. [in Russian].
- 3 Karchevsky A.L., Simultaneous reconstruction of permittivity and conductivity / *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2009. – V. 17, – No. 4. – p. 385-402. <https://doi.org/10.1515/JIIP.2009.026>
- 4 Romanov V.G., Karchevsky A.L., Determination of permittivity and conductivity of medium in a vicinity of a well having complex profile / *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*. 2018. – V. 6, – No. 4. – p. 64-74. <https://doi.org/10.32523/2306-6172-2018-6-4-62-72>
- 5 Gradstein I.S., Ryzhik I.M., *Tablitsy integralov, summ, ryadov i proizvedenii* [Tables of integrals, sums, series and products]. Moscow: Gosudarstvennoye izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury, 1962. [in Russian].
- 6 Janke E., Emde F., Lösch F. *Tafeln Höherer Funktionen*. Stuttgart: B.G. Verlagsgesellschaft, 1960.
- 7 Iskakov K.T., Boranbaev S.A., Uzakkyzy N., Wavelet processing and filtering of the radargram trace / *Eurasian Journal of Mathematical and Computer Applications*. 2017. – V. 5, – No. 4. – p. 43-54. <https://doi.org/10.32523/2306-3172-2017-5-4-43-54>
- 8 Uzakkyzy N., Iskakov K., Boranbayev S., About the results of the processing router radargram Haar wavelets and Daubechies. *Progress in Electromagnetics Research Symposium*, St. Petersburg, Russia, 22-25 May 2017. p. 3729-3739. <https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8262406>
- 9 Kotel'nikov V.A., On the transmission capacity of 'ether' and wire in electric communications / *Physics-Uspekhi*, 2006. – V. 49. – p. 736-744. <https://doi.org/10.1070/pu2006v049n07abeh006160>
- 10 Nyquist H., Certain topics in telegraph transmission theory / *Transactions AIEE*. 1928. – V. 47. – No. 2. – p. 617-644. <https://doi.org/10.1109/T-AIEE.1928.5055024>
- 11 Vasiliev F.P., *Chislennyye metody resheniya ekstremal'nykh zadach* [Numerical methods for solving extremal problems]. Moscow, Nauka, 1988. [in Russian].
- 12 Karchevsky A.L., Numerical Solution to the One-Dimensional Inverse Problem for an Elastic System / *Doklady*. 2000. – V. 375, – No. 8. – p. 325-328.
- 13 Kurpinar E., Karchevsky A.L., Numerical solution of the inverse problem for the elasticity system for horizontally stratified media. / *Inverse Problems*. 2004. – V. 20, – No. 3. – p. 953-976. <https://doi.org/10.1088/0266-5611/20/3/018>
- 14 Karchevsky A.L., Numerical reconstruction of medium parameters of member of thin anisotropic layers / *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2004. – V. 12, – No. 5. – p. 519-634. <https://doi.org/10.1515/1569394042531332>
- 15 Karchevsky A.L., Reconstruction of pressure velocities and boundaries of thin layers in thinly-stratified layers / *Journal of Inverse and Ill-Posed Problems*. 2010. – V. 18, – No. 4. – p. 371-388. <https://doi.org/10.1515/jiip.2010.015>

16 Nazarov L.A., Nazarova L.A., Karchevskii A.L., Panov A.V., Estimation of Stresses and Deformation Properties of Rock Masses Which Is Based on the Solution of an Inverse Problem From the Measurement Data of the Free Surface Displacement / *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2013. – V. 7, – No. 2. – p. 234-240. <https://doi.org/10.1134/S1990478913020130>

17 Duchkov A.A., Karchevsky A.L., Determination of Terrestrial Heat Flow from Temperature Measurements in Bottom Sediments / *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2013. – V. 7, – No. 4. – p. 480-502. <https://doi.org/10.1134/S1990478913040042>

18 Nazarova L.A., Nazarov L.A., Karchevsky A.L., Vandamme M., Determining Kinetic Parameters of a Block Coal Bed Gas by Solving Inverse Problem Based on Data of Borehole Gas Measurements / *Journal of Mining Science*. 2015. – V. 51, No. 4. – p. 666-672. <https://doi.org/10.1134/S1062739115040027>

19 Karchevsky A.L., Determination of the Possibility of Rock Burst in a Coal Seam / *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2017. – V. 11, – No. 4. – p. 527-534. <https://doi.org/10.1134/S1990478917040019>

20 Karchevsky A.L., Dedok V.A., Reconstruction of Permittivity from the Modulus of a Scattered Electric Field. *Journal of Applied and Industrial Mathematics*. 2018. – V. 12, – No. 3. – p. 470-478. <https://doi.org/10.1134/S1990478918030079>

К. И. УСМАНОВ, К. Ж. НАЗАРОВА, Ж. С. ЕРКИШЕВА

Международный Казахско-Турецкий университет им. А.Ясави, Туркестан, Казахстан.

e-mail: y_kairat@mail.ru, gjnazarova@mail.ru, jazira78@mail.ru

ОБ УСЛОВИИ РАЗРЕШИМОСТИ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТИПА ДИРИХЛЕ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИНВОЛЮЦИЕЙ

Рассматривается краевая задача для нелокального дифференциального уравнения второго порядка. Такие задачи возникают при рассмотрении разрешимости краевых и начально-краевых задач для нелокальных дифференциальных уравнений в частных производных. В работе исследуется разрешимость краевой задачи типа Дирихле для дифференциального уравнения $y''(1-x) + \lambda^2 y(x) = f(x), 0 \leq x \leq 1$. Для решения задачи был применен метод параметризации профессора Д.Джумабаева. Для этого вводятся параметры $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right)$, $\mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$ и выполняется замена переменных $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$. Тем самым рассматриваемая задача разбивается на две части – это задача Коши для исходного уравнения и система линейных уравнений, относительно введенных параметров. Доказывается эквивалентность исходной краевой задачи и полученной задачи с параметрами. Параметры введены так, чтобы задача Коши для рассматриваемого уравнения с инволютивным преобразованием имела единственное решение. Определяя решение задачи Коши и подставляя его в краевые условия, получим систему линейных уравнений относительно параметров μ_1 , μ_2 . Считая матрицу данной системы обратной, определяем значение параметров. Подставляя полученное выражение для $u(x)$ и μ_1 , μ_2 в $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$ находим решение исходной задачи. Если матрица необратима, то получаем условие разрешимости задачи, в виде $\int_0^1 \sin \lambda \xi f(\xi) d\xi = 0$, где $\lambda = (2k+1)\pi$.

Ключевые слова: инволюция, краевая задача, метод параметризации, параметр, задача Коши, разрешимость.

Қ. Ы. УСМАНОВ, К. Ж. НАЗАРОВА, Ж. С. ЕРКИШЕВА

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,

Түркістан, Қазақстан

e-mail: y_kairat@mail.ru, gjnazarova@mail.ru, jazira78@mail.ru

ИНВОЛЮЦИЯЛЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕЛЕР ҮШІН ДИРИХЛЕ ТҮРІНДЕГІ ШЕТТІК ЕСЕПТІҢ ШЕШІМДІЛІГІНІҢ ШАРТЫ ТУРАЛЫ

Бұл мақалада локальды емес екінші ретті дифференциалдық теңдеу үшін шеттік есеп қарастырылады. Мұндай есептер локальды емес дербес туындылы теңдеулер үшін шеттік және бастапқы шеттік есептердің шешімділігін қарастыру кезінде туындайды. Бұл жұмыста мынадай $y''(1-x) + \lambda^2 y(x) = f(x), 0 \leq x \leq 1$. дифференциалдық теңдеу үшін Дирихле типті шеттік есептің шешімділігі зерттеледі. Есепті шешу үшін профессор Д.С.Джумабаевтың параметрлеу әдісі қолданылды. Ол үшін $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right)$, $\mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$ параметрлері енгізіледі де, мынадай

алмастыру $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$ жасалынады. Сонымен, қарастырылып отырған шеттік есеп екі бөлікке бөлінеді, бұл бастанқы теңдеу үшін Коши есебі және енгізілген параметрлерге қатысты сызықтық теңдеулер жүйесі. Бастанқы шеттік есеп пен алынған параметрлі есептің эквиваленттілігі дәлелденеді. Параметрлер қарастырылып отырған теңдеу үшін Коши есебінің жалғыз шешімі болатындай етіп енгізілген. Коши есебінің шешімін анықтау және оны шеттік шарттарға қою арқылы енгізілген μ_1 , μ_2 параметрлерге қатысты сызықтық теңдеулер жүйесін аламыз. Бұл жүйенің матрицасының кері матрицасы бар деп есептей отырып, қарастырылып отырған шеттік есептің шешімін табамыз. Алынған $u(x)$ және μ_1 , μ_2 өрнектерін $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$ функциясына қойып, бастанқы есептің шешімін табамыз. Егер матрица қайтарымды болмаса, онда есептің шешілімділік шартын $\int_0^1 \sin \lambda \xi f(\xi) d\xi = 0$, мұндағы $\lambda = (2k + 1)\pi$ осы түрде аламыз.

Түйін сөздер: инволюция, шеттік есеп, параметрлеу әдісі, параметр, Коши есебі, шешімділік.

K. I. USMANOV, K. ZH. NAZAROVA, J. S. ERKISHEVA

A. Yasavi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan
e-mail: y_kairat@mail.ru, gjnazarova@mail.ru, jazira78@mail.ru

ON THE CONDITION FOR SOLVABILITY OF A BUNDARY VALUE PROBLEM OF DIRICHLET TYPE FOR DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH INVOLUTION

This article considers a boundary value problem for a nonlocal second-order differential equation. Such problems arise when considering the solvability of boundary value and initial boundary value problems for nonlocal partial differential equations. This paper investigates the solvability of a Dirichlet type boundary value problem for the differential equation $y''(1-x) + \lambda^2 y(x) = f(x)$, $0 \leq x \leq 1$. To solve the problem, the parameterization method of Professor D. Dzhumabaev was used. To do this, the $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right)$, $\mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$ parameters are introduced and the $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$ variables are replaced. Thus, the problem under consideration is divided into two parts: this is the Cauchy problem for the original equation and a system of linear equations with respect to the entered parameters. The equivalence of the original boundary value problem and the resulting problem with parameters is proved. The parameters are introduced so that the Cauchy problem for the equation under consideration with an involutive transformation has a unique solution. By determining the solution to the Cauchy problem and substituting it into the boundary conditions, we obtain a system of linear equations with respect to the introduced parameters. Considering the matrix of this system to be invertible, we determine the values of the parameters. Substituting the resulting expressions for $u(x)$ and μ_1 , μ_2 into $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$ we find the solution to the original problem. If the matrix is not invertible, then we obtain the condition for the solvability of the problem in the form $\int_0^1 \sin \lambda \xi f(\xi) d\xi = 0$, where $\lambda = (2k + 1)\pi$.

Key words: Involution, boundary value problem, parameterization method, parameter, Cauchy problem, solvability.

Введение. Известно, что дифференциальные уравнения с отклоняющимися аргументами играют важную роль при исследовании задач медицины, биологии, экономики и т.д. Например, в работе [1] рассмотрена экономическая модель, описывающая взаимосвязь между приростом населения и производством сельскохозяйственной продукции. Показано, что если рассмотреть в модели запаздывания с положительной дисперсией, то динамика экономики определяется системой дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений с запаздыванием.

Некоторые из таких отклонений обладают свойствами $\alpha: [0, T] \rightarrow [0, T]$ и $\alpha^2(t) = \alpha(\alpha(t)) = t$. В дифференциальных уравнениях, в которых вместе с искомой функцией $x(t)$ имеется значение $x(\alpha(t))$ и $\dot{x}(\alpha(t))$ называют уравнениями со сдвигами Карлемана [2] или уравнениями с инволютивными преобразованиями. На отрезке в качестве такого преобразования можно рассмотреть преобразование вида $\alpha(t) = 1 - t$.

Разрешимости различных дифференциальных уравнений с инволюцией посвящены монографии D. Przeworska-Rolewicz [3], J. Wiener [4]. J. Wiener исследовал существование решения уравнения в частных производных с инволюцией методом разделения переменных. Свойства таких преобразований рассматривались в работах N. Karapetiants и S. Samko [5]. Работа авторов Alberto Cabada и F. Тоjo посвящена созданию функции Грина для одномерных дифференциальных уравнений с инволюцией [6].

В настоящее время корректность краевых и начально-краевых задач для дифференциальных уравнений с различными видами инволюции, их качественные свойства решений, а также их спектральные вопросы достаточно хорошо изучены в работах [7-10]. Спектральные задачи для дифференциального оператора второго порядка изучались в [8-9]. В работе [10] исследуются собственные функции и собственные значения краевой задачи для нелокального уравнения Лапласа с кратной инволюцией.

Многие вопросы разрешимости краевых задач для дифференциальных уравнений с инволютивными преобразованиями исследованы достаточно хорошо. Однако некоторые вопросы разрешимости остаются открытыми. В данной работе с помощью метода параметризации будут определены условия разрешимости одной из таких задач.

2. Метод параметризации. В данной работе на отрезке $[0, 1]$ исследуется краевая задача для неоднородного уравнения с инволюцией

$$y''(1-x) + \lambda^2 y(x) = f(x), \quad 0 \leq x \leq 1, \quad (1)$$

$$y(0) = a, \quad y(1) = b \quad (2)$$

где функция $f(x)$ непрерывна на $[0, 1]$, $\lambda \neq 0$. В случае, когда $\lambda = 0$ краевая задача (1), (2) переходит в краевую задачу для обыкновенного уравнения с разделяющими переменными.

Разрешимость краевой задачи (1), (2) будем исследовать методом параметризации, предложенным профессором Джумабаевым Д.С. [11]. Метод параметризации изначально был применен для исследования однозначной разрешимости краевой задачи для систем дифференциальных уравнений. Позже методом параметризации были исследованы разрешимости различных краевых задач [12-13].

Введя обозначения $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right)$, $\mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$ и используя замену $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2\left(x - \frac{1}{2}\right)$, из краевой задачи (1), (2) перейдем к следующей эквивалентной краевой задаче с параметрами

$$u''(1-x) + \lambda^2 u(x) = f^*(x), \quad (3)$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = 0, \quad u'\left(\frac{1}{2}\right) = 0, \quad (4)$$

$$u(0) + \mu_1 - \frac{\mu_2}{2} = a, \quad (5)$$

$$u(1) + \mu_1 + \frac{\mu_2}{2} = b. \quad (6)$$

где $f^*(x) = f(x) - \lambda^2 \mu_1 - \lambda^2 \mu_2\left(x - \frac{1}{2}\right)$.

Лемма 1. Задачи (1), (2) и (3) – (6) эквивалентны.

Доказательство. Пусть $y(x)$ – решение краевой задачи (1), (2). Тогда определяемая в виде $u(x) = y(x) - \mu_1 - \mu_2\left(x - \frac{1}{2}\right)$ функция удовлетворяет (3) – (6), где $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right)$, $\mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$.

Действительно, $u''(x) = y''(x)$ и $u''(1-x) = y''(1-x)$. Тогда

$$\begin{aligned} u''(1-x) + \lambda^2 u(x) &= y''(1-x) + \lambda^2 \left(y(x) - \mu_1 - \mu_2\left(x - \frac{1}{2}\right) \right) = \\ &= y''(1-x) + \lambda^2 y(x) - \lambda^2 \left(\mu_1 + \mu_2\left(x - \frac{1}{2}\right) \right) = f(x) - \lambda^2 \mu_1 - \lambda^2 \mu_2\left(x - \frac{1}{2}\right) = f^*(x), \end{aligned}$$

т.е. $y(x)$ удовлетворяет (3). Так как, $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right)$, $\mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$, то $u\left(\frac{1}{2}\right) = y\left(\frac{1}{2}\right) - \mu_1 = \mu_1 - \mu_1 = 0$. $u'(x) = y'(x) - \mu_2$, $u'\left(\frac{1}{2}\right) = y'\left(\frac{1}{2}\right) - \mu_2 = \mu_2 - \mu_2 = 0$.

Условия (5), (6) следует из

$$u(0) + \mu_1 - \frac{\mu_2}{2} = \left(y(0) - \mu_1 + \frac{\mu_2}{2} \right) + \mu_1 - \frac{\mu_2}{2} = y(0) = a,$$

$$u(1) + \mu_1 + \frac{\mu_2}{2} = \left(y(1) - \mu_1 - \frac{\mu_2}{2} \right) + \mu_1 + \frac{\mu_2}{2} = y(1) = b.$$

Обратно пусть $u(x)$, μ_1 , μ_2 решение задачи (3) – (6). Тогда определяемая в виде $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2} \right)$ функция удовлетворяет (1), (2). Действительно, $y''(x) = u''(x)$ и $y''(1-x) = u''(1-x)$. Тогда

$$y''(1-x) + \lambda^2 y(x) = u''(1-x) + \lambda^2 u(x) + \lambda^2 \mu_1 + \lambda^2 \mu_2 \left(\frac{1}{2} - x \right) = f^*(x) + \lambda^2 \mu_1 + \lambda^2 \mu_2 \left(\frac{1}{2} - x \right) = \left(f(x) - \lambda^2 \mu_1 - \lambda^2 \mu_2 \left(x - \frac{1}{2} \right) \right) + \lambda^2 \mu_1 + \lambda^2 \mu_2 \left(\frac{1}{2} - x \right) = f(x),$$

т.е. удовлетворяет (3). Докажем, что $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2} \right)$ удовлетворяет и краевые условия (2). Так как $y(0) = u(0) + \mu_1 - \frac{\mu_2}{2}$, то подставляя вместо

$$u(0) = -\mu_1 + \frac{\mu_2}{2} + a, \text{ получим } y(0) = u(0) + \mu_1 - \frac{\mu_2}{2} = \left(-\mu_1 + \frac{\mu_2}{2} + a \right) + \mu_1 - \frac{\mu_2}{2} = a.$$

Используя (6), можно показать, что $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2} \right)$ удовлетворяет и $y(1) = b$.

Применяя метод параметризации, мы формально исходную задачу разделили на две части, т.е. задача Коши (3), (4), для исходного уравнения и в систему линейных алгебраических уравнений (5), (6), для определения введенных параметров μ_1, μ_2 .

3. Решение задачи Коши. В работе [14] было доказано существование и единственность решения задачи Коши (3), (4), т.е. доказана Лемма, что если начальные условия задаются на середине рассматриваемого отрезка, то задача Коши для уравнения с инволютивным преобразованием имеет единственное решение. Поэтому параметры μ_1, μ_2 введены так, чтобы задача Коши имело единственное решение.

Рассмотрим уравнение (3), (4) в точках $x^* = 1 - x$, тогда

$$u''(x) + \lambda^2 u(1-x) = f^*(1-x), \tag{7}$$

$$u\left(\frac{1}{2}\right) = 0, \quad u'\left(\frac{1}{2}\right) = 0. \tag{8}$$

Складываем уравнения (3) и (7). Обозначим через $\vartheta(x) = u(x) + u(1-x)$, тогда

$$\vartheta''(x) + \lambda^2 \vartheta(x) = f_+^*(x), \tag{9}$$

$$\vartheta\left(\frac{1}{2}\right) = 0, \quad \vartheta'\left(\frac{1}{2}\right) = 0, \tag{10}$$

где $f_+^*(x) = f^*(x) + f^*(1-x)$. Вычитаем уравнения (3) от уравнения (7). Обозначим через $w(x) = u(x) - u(1-x)$, тогда

$$w''(x) - \lambda^2 w(x) = f_-^*(x), \quad (11)$$

$$w\left(\frac{1}{2}\right) = 0, \quad w'\left(\frac{1}{2}\right) = 0, \quad (12)$$

где $f_-^*(x) = -f^*(x) + f^*(1-x)$. Несложно показать, что решение задачи Коши (9), (10) определяется в виде

$$\vartheta(x) = \frac{1}{\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x \sin \lambda(x-\xi) f_+^*(\xi) d\xi, \quad (13)$$

а решение задачи Коши (11), (12) определяется в виде

$$w(x) = \frac{1}{\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x sh \lambda(x-\xi) f_-^*(\xi) d\xi. \quad (14)$$

Так как $\vartheta(x) = u(x) + u(1-x)$ и $w(x) = u(x) - u(1-x)$, то $u(x) = \frac{1}{2}(\vartheta(x) + w(x))$,

т.е.
$$u(x) = \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x \sin \lambda(x-\xi) f_+^*(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x sh \lambda(x-\xi) f_-^*(\xi) d\xi \quad (15)$$

Лемма 2. Решение задачи Коши (3), (4) определяется равенствами (15).

Доказательство. Из (15) следует, что $u\left(\frac{1}{2}\right) = 0$. Так как

$$u'(x) = \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{2}}^x \cos \lambda(x-\xi) f_+^*(\xi) d\xi + \frac{1}{2} \int_{\frac{1}{2}}^x ch \lambda(x-\xi) f_-^*(\xi) d\xi,$$

то $u'\left(\frac{1}{2}\right) = 0$, т.е. (15) удовлетворяет условию (4). Определим вторую производную от (15)

$$u''(x) = \frac{1}{2}(f_+^*(x) + f_-^*(x)) - \frac{\lambda}{2} \int_{\frac{1}{2}}^x \sin \lambda(x-\xi) f_+^*(\xi) d\xi + \frac{\lambda}{2} \int_{\frac{1}{2}}^x sh \lambda(x-\xi) f_-^*(\xi) d\xi, \quad (16)$$

или значение (16) в точках $x^* = 1-x$

$$u''(1-x) = f^*(x) - \frac{\lambda}{2} \int_{\frac{1}{2}}^{1-x} \sin \lambda(1-x-\xi) f_+^*(\xi) d\xi + \frac{\lambda}{2} \int_{\frac{1}{2}}^{1-x} sh \lambda(1-x-\xi) f_-^*(\xi) d\xi, \quad (17)$$

здесь учтены, что $f_+^*(x) = f^*(x) + f^*(1-x)$, $f_-^*(x) = -f^*(x) + f^*(1-x)$.

В (17) выполним замену переменных $\xi = 1 - z$, получим

$$u''(1-x) = f^*(x) + \frac{\lambda}{2} \int_{\frac{1}{2}}^x \sin \lambda(x-z) f_+^*(z) dz - \frac{\lambda}{2} \int_{\frac{1}{2}}^x sh \lambda(x-z) f_-^*(z) dz. \quad (18)$$

(15) и (18) подставляем в (3), т.е. (15) удовлетворяет уравнению (3).

Далее определяем значение введенных параметров. Подставим в (15) вместо $f_+^*(x)$, $f_-^*(x)$ их выражения $f_+^*(x) = f^*(x) + f^*(1-x)$, $f_-^*(x) = -f^*(x) + f^*(1-x)$, где $f^*(x) = f(x) - \lambda^2 \mu_1 - \lambda^2 \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$, тогда

$$u(x) = \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x \sin \lambda(x-\xi) [f(\xi) + f(1-\xi)] d\xi - \mu_1 \left(1 - \cos \lambda \left(x - \frac{1}{2}\right)\right) + \\ + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x sh \lambda(x-\xi) [f(1-\xi) - f(\xi)] d\xi - \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right) + \frac{\mu_2}{\lambda} sh \lambda \left(x - \frac{1}{2}\right)$$

Далее, выполняя замену $f(1-\xi)$, в интегральных членах $f(1-\xi)$, получим

$$u(x) = \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x \sin \lambda(x-\xi) f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^{1-x} \sin \lambda(1-x-\xi) f(\xi) d\xi + \\ + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^{1-x} sh \lambda(1-x-\xi) f(\xi) d\xi - \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x sh \lambda(x-\xi) f(\xi) d\xi - \\ - \mu_1 \left(1 - \cos \lambda \left(x - \frac{1}{2}\right)\right) - \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right) + \frac{\mu_2}{\lambda} sh \lambda \left(x - \frac{1}{2}\right). \quad (19)$$

Подставим (19) в условия (5), (6)

$$\frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} \sin \lambda \xi \cdot f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 \sin \lambda(1-\xi) f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 sh \lambda(1-\xi) f(\xi) d\xi - \\ - \frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} sh \lambda \xi f(\xi) d\xi - \mu_1 \left(1 - \cos \frac{\lambda}{2}\right) + \frac{\mu_2}{2} - \frac{\mu_2}{\lambda} sh \frac{\lambda}{2} + \mu_1 - \frac{\mu_2}{2} = a, \\ \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 \sin \lambda(1-\xi) \cdot f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} \sin \lambda \xi f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} sh \lambda \xi f(\xi) d\xi -$$

$$-\frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 sh\lambda(1-\xi) f(\xi) d\xi - \mu_1 \left(1 - \cos \frac{\lambda}{2}\right) - \frac{\mu_2}{2} + \frac{\mu_2}{\lambda} sh \frac{\lambda}{2} + \mu_1 + \frac{\mu_2}{2} = b. \quad (21)$$

или

$$\begin{aligned} \mu_1 \cos \frac{\lambda}{2} - \frac{\mu_2}{\lambda} sh \frac{\lambda}{2} = a - \frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} \sin \lambda \xi \cdot f(\xi) d\xi - \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 \sin \lambda(1-\xi) f(\xi) d\xi - \\ - \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 sh\lambda(1-\xi) f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} sh\lambda \xi f(\xi) d\xi, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \mu_1 \cos \frac{\lambda}{2} + \frac{\mu_2}{\lambda} sh \frac{\lambda}{2} = b - \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 \sin \lambda(1-\xi) \cdot f(\xi) d\xi - \frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} \sin \lambda \xi f(\xi) d\xi - \\ - \frac{1}{2\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} sh\lambda \xi f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 sh\lambda(1-\xi) f(\xi) d\xi. \end{aligned} \quad (23)$$

Матрицу, соответствующую параметрам μ_1, μ_2 обозначим через

$$Q = \begin{pmatrix} \cos \frac{\lambda}{2} & -\frac{1}{\lambda} sh \frac{\lambda}{2} \\ \cos \frac{\lambda}{2} & \frac{1}{\lambda} sh \frac{\lambda}{2} \end{pmatrix}. \quad (24)$$

4. Основные результаты. Теорема 1. Для однозначной разрешимости краевой задачи (1), (2) необходима и достаточна обратимость матрицы Q .

Доказательство. Пусть матрица Q обратима. Тогда из системы линейных уравнений (22), (23) однозначно определим параметры μ_1, μ_2 . Подставляя полученные значения параметров в (3), (4), найдем единственное решение задачи Коши. По Лемме 1, задачи (1), (2) и (3) – (5) эквивалентны. Так как (3), (4) однозначно разрешимы, то определяем $u(t)$. Подставляя полученные выражения в $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$, найдем единственное решение краевой задачи (1), (2).

Обратно пусть краевая задача (1), (2) однозначно разрешима и $y(t)$ – его решение. Введя обозначения $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right)$, $\mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$ и используя замену $u(x) = y(x) - \mu_1 - \mu_2 \left(x - \frac{1}{2}\right)$, от краевой задачи (1), (2), перейдем к эквивалентной краевой задаче с параметрами (3) – (5).

Предположим, что матрица Q необратима. Тогда система линейных уравнений имеет два различных решения μ_1, μ_2 и $\tilde{\mu}_1, \tilde{\mu}_2$. Но $\mu_1 = y\left(\frac{1}{2}\right), \mu_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$ и $\tilde{\mu}_1 = y\left(\frac{1}{2}\right), \tilde{\mu}_2 = y'\left(\frac{1}{2}\right)$, отсюда следует, что матрица Q обратима и $\mu_1 = \tilde{\mu}_1, \mu_2 = \tilde{\mu}_2$.

Подставим (19) в $y(x) = u(x) + \mu_1 + \mu_2\left(x - \frac{1}{2}\right)$, тогда

$$y(x) = \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x \sin \lambda(x - \xi) f(\xi) d\xi + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^{1-x} \sin \lambda(1 - x - \xi) f(\xi) d\xi + \mu_1 \cos \lambda\left(x - \frac{1}{2}\right) + \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^{1-x} sh\lambda(1 - x - \xi) f(\xi) d\xi - \frac{1}{2\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^x sh\lambda(x - \xi) f(\xi) d\xi + \frac{\mu_2}{\lambda} sh\lambda\left(x - \frac{1}{2}\right). \quad (25)$$

Пусть матрица Q обратима. Тогда $\frac{2}{\lambda} \cos \frac{\lambda}{2} sh \frac{\lambda}{2} \neq 0$ и

$$\mu_1 = \frac{1}{2 \cos \frac{\lambda}{2}} \left\{ a + b - \frac{1}{\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} \sin \lambda \xi \cdot f(\xi) d\xi - \frac{1}{\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 \sin \lambda(1 - \xi) f(\xi) d\xi \right\}, \quad (26)$$

$$\mu_2 = \frac{\lambda}{2 sh \frac{\lambda}{2}} \left\{ b - a - \frac{1}{\lambda} \int_0^{\frac{1}{2}} sh \lambda \xi f(\xi) d\xi + \frac{1}{\lambda} \int_{\frac{1}{2}}^1 sh \lambda(1 - \xi) f(\xi) d\xi \right\}. \quad (27)$$

Тогда, подставляя (26), (27) в (25), определяем решение краевой задачи (1), (2).

Если система линейных уравнений (22), (23) совместна определена, то следует следующая теорема.

Теорема 2. Если матрица Q необратима, то для разрешимости краевой задачи (1), (2) необходимо и достаточно, чтобы при $a = b = c$ выполнялись условия

$$\int_0^1 \sin \lambda \xi f(\xi) d\xi = 0, \quad \text{где } \lambda = (2k + 1) \pi.$$

This research has been/was/is funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP23488086)

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Ciano T., Ferrara M., Guerrini L. Qualitative analysis of a model of renewable resources and population with distributed delays. Mathematics. – 2022. - 10(8). - P. 1247;
- 2 Carleman T. La the'orie des e'quations inte'grales singulie' res et ses applications. Annales de l'institut Henri Poincare'. – 1932. – 1. – P. 401–430.

- 3 Przeworska-Rolewicz D. Equations with Transformed Argument, An Algebraic Approach, 1st ed.; Elsevier Scientific: Amsterdam, The Netherlands, 1973.
- 4 Wiener J. Generalized Solutions of Functional Differential Equations, 1st ed.; World Scientific: Singapore; River Edge NJ, USA; London, UK; Hong Kong, China, 1993.
- 5 Karapetiants N., Samko S. Equations with Involution Operators, 1st ed.; World Birkhauser: Boston, MA, USA, 2001; ISBN 978-1-4612-0183-0.
- 6 Cabada A.; Tojo F.A.F. Differential Equations with Involutions, 1st ed.; Atlantis Press: Paris, France, 2015; ISBN 978-94-6239-120-8.
- 7 Al-Salti N., Kerbal S., Kirane M. Initial-boundary value problems for a time-fractional differential equation with involution perturbation. *Math. Model. Nat. Phenomena.* – 2019. – 14. – P. 312.
- 8 Kritskov L.V., Sadybekov M.A., Sarsenbi A.M. Properties in L_p of root functions for a nonlocal problem with involution. *Turk. J. Math.* – 2019. – 43. – P. 393–401.
- 9 Sarsenbi A., Sarsenbi A. On eigenfunctions of the boundary value problems for second order differential equations with involution. *Symmetry.* – 2021. – 13. – P.1972.
- 10 Turmetov B., Karachik V. On eigenfunctions and eigenvalues of a nonlocal Laplace operator with multiple Involution. *Symmetry.* – 2021. – 13. – P. 1981.
- 11 Dzhumabayev D.S. Criteria for the unique solvability of a linear boundary-value problem for an ordinary differential equation. *Comput Maths Math Phys.* – 1989. – 29(34). P. 34-46.
- 12 A. T. Assanova, E. A. Bakirova, Z. M. Kadirbayeva, “Numerical Solution to a Control Problem for Integro-Differential Equations”, *Comput. Math. and Math. Phys.* – 2020. – 60(2). – P. 203–221.
- 13 Dzhumabaev D.S. An algorithm for solving a linear two-point boundary value problem for an integrodifferential equation, *Computational Mathematics and Mathematical Physics.* – 2013. – 53(6). – P. 736-758.
- 14 G. Dildabek, M. B. Ivanova, M. A. Sadybekov. On root functions of nonlocal differential second-order operator with boundary conditions of periodic type. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science.* – 2021. – Vol. 112, No. 4. – P. 29-44.

REFERENCES

- 1 Ciano T., Ferrara M., Guerrini L. Qualitative analysis of a model of renewable resources and population with distributed delays. *Mathematics.* – 2022. - 10(8). - P. 1247;
- 2 Carleman T. La the´orie des e´quations inte´grales singulie´res et ses applications. *Annales de l’institut Henri Poincaré.* – 1932. – 1. – P. 401–430.
- 3 Przeworska-Rolewicz D. Equations with Transformed Argument, An Algebraic Approach, 1st ed.; Elsevier Scientific: Amsterdam, The Netherlands, 1973.
- 4 Wiener J. Generalized Solutions of Functional Differential Equations, 1st ed.; World Scientific: Singapore; River Edge NJ, USA; London, UK; Hong Kong, China, 1993.
- 5 Karapetiants N., Samko S. Equations with Involution Operators, 1st ed.; World Birkhauser: Boston, MA, USA, 2001; ISBN 978-1-4612-0183-0.
- 6 Cabada A.; Tojo F.A.F. Differential Equations with Involutions, 1st ed.; Atlantis Press: Paris, France, 2015; ISBN 978-94-6239-120-8.
- 7 Al-Salti N., Kerbal S., Kirane M. Initial-boundary value problems for a time-fractional differential equation with involution perturbation. *Math. Model. Nat. Phenomena.* – 2019. – 14. – P. 312.
- 8 Kritskov L.V., Sadybekov M.A., Sarsenbi A.M. Properties in L_p of root functions for a nonlocal problem with involution. *Turk. J. Math.* – 2019. – 43. – P. 393–401.
- 9 Sarsenbi A., Sarsenbi A. On eigenfunctions of the boundary value problems for second order differential equations with involution. *Symmetry.* – 2021. – 13. – P.1972.

10 Turmetov B., Karachik V. On eigenfunctions and eigenvalues of a nonlocal Laplace operator with multiple Involution. *Symmetry*. – 2021. – 13. – P. 1981.

11 Dzhumabayev DS. Criteria for the unique solvability of a linear boundary-value problem for an ordinary differential equation. *Comput Maths Math Phys*. – 1989. – 29(34). P. 34-46.

12 A. T. Assanova, E. A. Bakirova, Z. M. Kadirbayeva, “Numerical Solution to a Control Problem for Integro-Differential Equations”, *Comput. Math. and Math. Phys.* – 2020. – 60(2). – P. 203–221.

13 Dzhumabaev D.S. An algorithm for solving a linear two-point boundary value problem for an integrodifferential equation, *Computational Mathematics and Mathematical Physics*. – 2013. – 53(6). – P. 736-758.

14 G. Dildabek, M. B. Ivanova, M. A. Sadybekov. On root functions of nonlocal differential second-order operator with boundary conditions of periodic type. *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*. – 2021. – Vol. 112, No. 4. – P. 29-44.

УДК: 65.014.1

<https://doi.org/10.47533/2024.1606-146X.42>

В. И. СОЛОВЬЕВ^{1*}, Е. В. ТКАЧ²

¹Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия.

e-mail: *ems@ems.kz

ВСЕ, ЧТО МЫ ИМЕЕМ – РЕЗУЛЬТАТ КАЧЕСТВА СИСТЕМНОГО МЕНЕДЖМЕНТА ISO 9001

В статье рассматриваются вопросы внедрения системного менеджмента по требованиям международного стандарта ISO 9001 в Республике Казахстан, анализируются причины создавшейся ситуации, вносятся предложения по ее улучшению.

Статья написана с целью – обратить внимание руководителей организаций государственного и негосударственного сектора экономики на необходимость в современных условиях знать правила системного менеджмента ISO 9001 и уметь применять их на практике.

Ключевые слова: системный менеджмент, ISO 9001, качество управления организациями, устойчивое развитие организаций, корпоративная культура.

В. И. СОЛОВЬЕВ^{1*}, Е. В. ТКАЧ²

¹Қазақстан Республикасы Ұлттық инженерлік академиясының академигі,
Қазақстан сапа менеджменті академиясының президенті, Алматы, Қазақстан;

²Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу, Ресей.

e-mail: *ems@ems.kz

БІЗДЕ БАР НӘРСЕНІҢ БӘРІ ISO 9001 ЖҮЙЕСІН БАСҚАРУ САПАСЫНЫҢ НӘТИЖЕСІ

Мақалада халықаралық стандарттарға сәйкес жүйе менеджментін енгізу мәселелері қарастырылады, қазіргі жағдайдың себептері талданады, онда оның жағандық ұстанымы туралы ұсыныстар бар.

Мақала заманауи жағдайларда ISO 9001 жүйесін басқару ережелерін білуге және оларды қолдана білуге арналған сыртқы органдарға және оның юрисдикциясына назар аудару мақсатында жазылған.

Түйін сөздер: жүйе менеджменті, ISO 9001, ұйымды басқару сапасы, ұйымдардың тұрақты дамуы, корпоративтік мәдениет.

V. I. SOLOVYEV¹*, E. V. TKACH²

¹*Academician of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, President of the Kazakhstan Academy of Quality Management, Almaty, Kazakhstan;*

²*National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia.*

*e-mail: *ems@ems.kz*

EVERYTHING WE HAVE IS THE RESULT OF ISO 9001 SYSTEM MANAGEMENT QUALITY

The article deals with the implementation of system management according to the requirements of the international standard ISO 9001 in the Republic of Kazakhstan, analyzes the causes of the current situation, and makes proposals for its improvement.

The article was written with the aim of drawing the attention of the heads of organizations of the state and non-state sectors of the economy to the need in modern conditions to know the rules of ISO 9001 system management and be able to apply them in practice.

Key words: *system management, ISO 9001, organization management quality, sustainable development of organizations, corporate culture.*

Нет ничего труднее, опаснее и неопределеннее, чем руководить введением нового порядка вещей, потому что у каждого нововведения есть ярые враги, которым хорошо жилось по-старому, и вялые сторонники, которые не уверены, смогут ли они жить по-новому.

Никколо Макиавелли

Устойчивое развитие организаций и страны в целом базируется на тех аспектах социально-экономического развития, которые обеспечивают рост эффективности и повышение конкурентоспособности производств и других видов деятельности. В свою очередь, каждый из этих факторов зависит от умения организации работать по «правилам качественного системного менеджмента» — ISO 9001. Именно они могут помочь персоналу обеспечить стабильное управление разнородными процессами предприятий.

Казалось бы, все предельно ясно. Накопленный организациями положительный опыт применения системного менеджмента должен побуждать интерес к этому процессу у руководителей, которые все еще работают «по старинке», мотивировать их на принятие решения о необходимости встраивания в управление предприятиями системного менеджмента по ISO 9001.

Проблемы внедрения качественного системного менеджмента. К сожалению, если оценивать сложившуюся в Казахстане ситуацию с учетом перспектив применения организациями ISO 9001, то приходится констатировать, что выглядит она неутешительно. Организаций в стране много, а эффективных становится все меньше.

Как известно, работа по внедрению ISO 9001 ведется уже более 20 лет. Первые два десятилетия она, можно сказать, была «на подъеме», активно обучались профессионалы всех специальностей и должностей. Сейчас все это осталось в прошлом. В последнее время, особенно после карантина в связи с пандемией COVID-19, произошли существенные изменения: часть организаций закрылась, другая стала отказываться от проведения сертификационного аудита (из-за отсутствия финансирования или по другим причинам), что, естественно, влечет за собой отзыв сертификата соответствия системы/систем менеджмента.

Анализ создавшегося положения позволил прийти к следующим выводам:

- организации, в которых персонал сохранил приверженность к ISO 9001, успешно справились со всеми «сюрпризами» бизнес-среды, в т.ч. с карантинными ограничениями: многие из них смогли даже в таких условиях не только обеспечить устойчивую работу, но и улучшить производственные показатели, а именно повысить прибыль и, как следствие, уровень заработной платы работникам;

- руководители таких предприятий делают упор не только на улучшение качества системного менеджмента, но и на улучшение качества корпоративной культуры, в основе которых лежат профессионализм, инновационное мышление, ответственность, способность работать в команде, энтузиазм, дисциплина, самодисциплина, навык принимать решения на фактах (говорить правду), умение обсуждать и решать «тяжелые» (нелицеприятные) вопросы, умение продуктивно сотрудничать и создавать дружественную, теплую и созидательную атмосферу для качественной обратной связи и др.

- пандемия COVID-19 не является главной причиной отказа от следования принципам системного менеджмента, на самом деле веским фактором становится смена высшего руководства в таких организациях: чтобы скрыть свою неосведомленность в вопросах работы по правилам ISO 9001, эти новоиспеченные горе-руководители не придумывали ничего разумнее, чем просто заявить: «Нам ISO 9001 не нужен. Всем известно, что этот зловредный стандарт привнесен в нашу практику из-за границы...» или «Мы и так знаем, как руководить, без всяких ISO...» и т.п.

Кстати, изменения в руководстве главным образом произошли не в производственной сфере, а в министерствах, органах местного самоуправления и (что следует отметить особо) учебных заведениях — университетах, колледжах. Как правило, на место одного начальника, безграмотного в области системного менеджмента, приходит такой же — и это, естественно, не приводит к ожидаемым существенным переменам. Причем плачевный результат связан не только с вновь назначенным руководителем, но и с командой, которую он с собой приводит. При подобном подходе итог всегда будет одинаковым. Как сказал Альберт Эйнштейн: «Самая большая глупость — делать то же самое и надеяться на другой результат».

Большой ущерб такие руководители/команды наносят в министерствах, местных органах самоуправления и др. Практика показывает, что там процветает «комфортный самобытный менеджмент» - командно-административный «по наитию», а именно псевдоинициативы вкупе с коррупцией, ложью, беспринципностью и схемами «осваивания бюджетных денег». Чаще всего подобные случаи приводят почти к полному развалу управления организацией.

Можно привести пример, когда обратная связь с преподавателями университета показала, что с начала учебного года «свежей команде» так и не удалось составить рабочее расписание, не говоря уже об организации учебного процесса. Когда новому ректору сообщили, что университет более 10 лет работает по правилам системного менеджмента, он, не разобравшись в ситуации, заявил, что «они не нужны, мы будем работать по своим правилам».

Легкость рассуждений по вопросам, в которых эти люди не имеют ни малейшего понятия, переплетается с завышенным представлением о своих способностях и приводит к тому, что они принимают необоснованные решения, в частности в отношении определения объективных целей с учетом применения системного менеджмента. Усугубляет положение отсутствие у них культуры преемственности достижений и наработанного предыдущими руководителями опыта функционирования организации, в т.ч. умения персонала работать в рамках ISO 9001.

Вызывает также озабоченность нежелание высшего руководства учиться управлять своей организацией по правилам качественного системного менеджмента; по сути, высшее руководство и персонал в этих организациях не готовы к переменам. Кстати, такие руководители строят свое видение в деле управления на ложных представлениях об ISO 9001, на стереотипах, которые сдерживают развитие любой сферы деятельности организации. Такие руководители обычно проявляют необъяснимые чванливость, гордыню, агрессивное поведение, профессиональное высокомерие, превосходство и т.п., которые не способствуют нахождению желаемого консенсуса в решении поставленных задач. Данная ситуация существенным образом ухудшается, если управленческий пост занимают случайные люди, не имеющие образования, соответствующего основной деятельности организации, родственники и другое; такие руководители компенсируют свою «никчемность» умением отрицать очевидное; при этом они являются мастерами «плести» интриги, что является одним из способов «дешевой» дискредитации оппонента. Все это становится бедствием не только для конкурентоспособности организации, но и для качества развития национальной экономики.

Не добавляет оптимизма и утверждение одного из «специалистов» в области системного менеджмента, что «ISO 9001 не нашел широкого применения по причине того, что требования этого стандарта трудновыполнимы». Этот «профессионал» явно не владеет знаниями о стандарте, не способен системно мыслить — а значит, и системно управлять.

Между тем не только многие организации, но и индивидуальные предприниматели умеют работать по ISO 9001 и при необходимости сертифицируют свою систему менеджмента на соответствие данному международному стандарту. Важно помнить, что ISO 9001 — это «минимальные» правила управления, которым любая профессионально грамотная организация должна уметь следовать в своей системной работе. Если компания не может этого сделать, то вход в бизнес-среду как производную от качества прогрессирующей экономики страны для нее должен быть закрыт (с учетом конкуренции). Кстати, на начальном этапе, когда организации только приступили к внедрению ISO 9001, с этой работой успешно справлялись предприятия, которые уже имели советский опыт разработки и применения в производственной деятельности

стандартов предприятий в рамках комплексных систем управления качеством продукции (КС УКП) [1]. Поэтому скепсис по вопросам использования ISO 9001 неуместен.

И все же в целом ситуация в бизнес-среде не способствует инициативам по принятию решений о работе по правилам системного менеджмента. В связи с этим глава нашей страны Касым-Жомарт Токаев отметил на совещании с бизнесменами: «В Казахстане существует олигополия — колоссальная концентрация бизнеса в одних руках, а у способных предпринимателей возможности заниматься бизнесом нет...» И продолжил: «Есть люди, которые путают Гегеля с Бабелем, не имеют специального образования, но у них огромное количество бизнесов в одних руках». Естественно, руководителям такого бизнеса, в котором процветает псевдоконкуренция, нет никакого дела до преобразований, связанных с улучшением качества системного менеджмента.

И еще следует обратить внимание на вывод известного казахстанского кинорежиссера Ермека Турсунова, который констатировал: «Сейчас много образованных проходимцев. Каков портрет сегодняшнего успешного человека? Умный, богатый, образованный и безнравственный, то есть бескультурный. То есть состоятельный плебей. В стране сегодня не осталось духовных лидеров, столпов культуры, мостов, которые бы соединяли берега. Вопросы культуры тесно переплетаются с вопросами политики и национальной безопасности».

Причины создавшейся ситуации. Если смотреть с позиций управления, то приходишь к пониманию, что культуру качества системного менеджмента и корпоративную культуру (деловую идеологию) следует рассматривать как объединяющую систему, которая может обеспечить организации возможность работать в условиях современного рынка, с учетом рисков.

К основным причинам, сдерживающим применение системного менеджмента, можно отнести следующие:

- в документах многих министерств не планируется работа по продвижению и улучшению системного менеджмента в рамках своих компетенций, не предусмотрено также проведение научно-практических конференций по данной тематике; то есть, серьезных перспектив в решении задач, связанных с применением в организациях качественного системного менеджмента ISO 9001 не наблюдается;

- прекратилось издание журнала «Новости Госстандарта»;
- работники местных органов самоуправления, министерств и других производственных, образовательных и хозяйственных структур не принимают активного участия в семинарах и конференциях, посвященных вопросам и опыту применения системного менеджмента, которые чаще всего проводятся на безвозмездной основе (бесплатно), хотя в этих конференциях участвуют специалисты из европейских и азиатских стран (на платной основе). В качестве примера ответственного отношения к указанным мероприятиям можно привести выступление Председателя КНР Си Цзиньпина в сентябре прошлого года на четвертой Китайской конференции по качеству, который отметил, что «страна вступает в стадию высококачественного развития». Он призвал осуществить переход от «сделано в Китае» к «создано в Китае», от «скорости Китая» к «качеству Китая» и от «китайских товаров» к «китайским брендам» [2].

Особо следует отметить, что положение дел в подготовке кадров, особенно в университетах, не изменилось к лучшему. Чаще всего выпускники разных специальностей не знают, что такое международный стандарт ISO 9001-2015 и зачем он нужен в организациях. И совсем непонятно, почему такое происходит в университетах, которые имеют сертификат соответствия. Рассмотрим причины создавшегося положения:

- непонимание высшим руководством разнотипных организаций важности внедрения и применения новой культуры управления на основе применения правил системного менеджмента — ISO 9001;
- слабая подготовка в вузах в области системного менеджмента, в т.ч. применения на практике ISO 9001 и других инструментов управления (встречаются факты, когда профессорско-преподавательский состав не владеет основами системного менеджмента, хотя не только преподает предметы, связанные с этим направлением, но и руководит магистерскими диссертациями по тематике развития качества управления – «феномен обучения»);
- отсутствие в образовательных учреждениях грамотных преподавателей в сфере системного менеджмента (чаще можно встретить «теоретика» и даже шарлатана, чем специалиста, знакомого с современной теорией и практикой применения известных, проверенных инструментов управления организацией, в т.ч. ISO 9001) [3, 4];
- безынициативность и незаинтересованность руководителей организаций, в которых не функционирует системный менеджмент, в освоении новых прогрессивных методов управления (а говорить с ними о многоуровневом развитии системного менеджмента и вовсе не приходится) [5—8].

Возможности развития. Чтобы исправить сложившуюся ситуацию и придать развитию нужное направление, предлагается предпринять ряд шагов.

Необходимо актуализировать законодательство и другие нормативно-правовые документы, способные изменить отношение к системному менеджменту у высшего руководства всех субъектов нашей экономики. При этом не следует забывать вывод, к которому пришел Г.П. Воронин: «...обществу нужно прививать нравственную составляющую понятия «качества», внутреннюю потребность в нем. Нравственный человек просто не способен делать брак» [9], а также наносить непоправимый экологический ущерб окружающей среде (бездумно вырубать вековые ели, добывать варварским способом полезные ископаемые и др.). «Можно также предположить, что это один из факторов, который в какой-то мере может помочь организациям «не допустить или снизить затраты, риски и урон от причастности к взяточничеству, способствует доверию в деловых взаимоотношениях и улучшает ее репутацию»¹ [9].

Важно увеличить число организаций, которые могут принять решение о переходе на управление по правилам системного менеджмента, до 50—80%. Отметим, что не все организации должны проходить процедуру сертификации своей системы менеджмента: решение вопроса «сертифицировать или не сертифицировать» — прерогатива высшего руководства. А вот умение работать в рамках ISO 9001 должно стать

¹ ISO 37001:2016 «Системы менеджмента противодействия коррупции. Требования и руководство по применению».

нормой с учетом требований бизнес-среды. Также можно поставить цель, чтобы все участники, независимо от сферы деятельности, знали и умели применять правила системного менеджмента (особенно в рамках своих компетенций) — не только на производстве, но и в жизни.

Требуется повысить качество учебных программ. Они должны помогать студентам в овладении навыком «научиться учиться» с помощью правил системного менеджмента, брать на себя ответственность за сотрудничество с преподавателем с целью получить соответствующие знания и компетенции по программе подготовки специалиста, востребованного на рынке труда.

Следует возобновить издание журнала, в котором разносторонне рассматривались бы вопросы экономики, инноваций, подготовки кадров, многоуровневого развития организаций, производственной культуры, деловой идеологии и др. Причем в работе такого журнала должны участвовать чиновники путем публикации актуальных статей по этой тематике (интерес к журналу может повысить включение его в Перечень изданий, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки).

* * *

В заключение отметим, что если какие-то тезисы данной статьи станут побуждающим фактором для изменения существующего положения, то можно будет считать, что цель достигнута.

Исходя из существующего положения, участникам бизнес-среды необходимо проделать большую работу по внедрению качественного системного менеджмента. Как справедливо утверждали академик С.П. Капица и Ли Куан Ю соответственно: «Культуру, науку, образование надо насаждать! Даже силой... Иначе нас всех ждет крах» и «Если неправильно управлять этой страной, все умные люди уедут. Не самые умные, не самые образованные не могут уехать...».

В этой связи, на наш взгляд, интерес представляет опыт, который был наработан в Советском Союзе; об этом в своей статье пишет И. Ефанова: «В нашем советском государстве нельзя устанавливать факультативность стандарта, это привело бы к его безответственности» [10].

Такой подход, с учетом современных условий, может способствовать глубинному пониманию и восприятию ISO 9001 через призму «Все, что мы имеем в жизни – это результат управления жизнедеятельностью организации». Это приведет к тому, что появятся организации «естественного» применения ISO 9001. В этих организациях, в системе управления главным должен быть человек; именно качественный системный менеджмент позволяет специалистам отбросить все, что мешает им качественно и счастливо работать, способствуя самореализации профессионала и его зрелости в действующей бизнес-среде.

При этом не стоит забывать, что никакие системные стандарты, никакие методики и даже консультанты и коучи не помогут, пока человек сам не начнет мыслить и работать по-новому, пока он не откажется от практики передавать ответственность за свое благополучие кому-либо другому. Важно помнить: время дается для того, чтобы мы жили с интересом и плодотворно, поэтому надо постоянно учиться, работать и думать

системно, оставаясь в тренде необходимых улучшений, диктуемых бизнес-средой и наработанным опытом в целом.

Сертификат ISO 9001 должен восприниматься как стимул к системному обновлению; доверие и еще раз доверие в вопросах сотрудничества с данной организацией на всех уровнях жизненного цикла продукции/услуги. Такой подход должен существенно улучшить качество вовлеченности профессионалов в процесс модернизации образования, развития отраслей производства, экономики и страны в целом. И, в конечном счете, повысить управленческую грамотность у всех участников бизнеса и заинтересованных сторон.

Все это должно привести к тому, чтобы в нашем обществе твердо сформулировался ответ на вопрос: «Что должен знать каждый гражданин Казахстана об ISO 9001?». Эти правила и идеология системного менеджмента должны создать условия для развития экономики, что в конечном счете обеспечит повышение благосостояния жителей нашей страны.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Белобрагин В.А. Стандарты организаций и современное производство // Стандарты и качество. – 2016. – № 2. – С. 36-39.
- 2 Тюшевская О. За движение к качеству и его культуре // Стандарты и качество. – 2022. – №12. – С. 10-13.
- 3 Соловьев В.И. ИСО 9001 – международные правила управления бизнесом, жизнедеятельностью организаций // Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан. – 2016. – № 4 (62). – С. 126-131.
- 4 Соловьев В.И. Как готовить грамотных управленцев со студенческой скамьи // Business Excellence. – 2018. – № 11. – С. 22–25.
- 5 Соловьев В.И. Нужно ли применять ISO 9001 в организациях? // Стандарты и качество. – 2018. – № 7. – С. 68–71.
- 6 Соловьев В.И. «ИСО 9001 плюс» – инструмент многоуровневого развития организации // Стандарты и качество. – 2019. – № 9. – С. 82–84.
- 7 Соловьев В.И. Задача – статья передовой экономикой мира // Стандарты и качество. – 2016. – № 10. – С. 11–13.
- 8 Соловьев В.И. Вокруг да около системного менеджмента – ISO 9001 // Стандарты и качество. – 2023. – № 6. – С. 104-107.
- 9 Воронин Г.П., Киселева Т.В. Нравственность – главный критерий качества // Стандарты и качество. – 2022. – № 1. – С. 68–71.
- 10 Ефанова И. «Вестник стандартизации» в эпоху Гастева: на пути к ликвидации комитета // Стандарты и качество. – 2016. – № 10 (952). – С. 40-44.

REFERENCES

- 1 Belobragin V.A. Standarty organizacij i sovremennoe proizvodstvo // Standarty i kachestvo. – 2016. – № 2. – S. 36–39.
- 2 Tyushevskaya O. Za dvizhenie k kachestvu i ego kul'ture // Standarty i kachestvo. – 2022. – №12. – S. 10-13.
- 3 Solov'ev V.I. ISO 9001 – mezhdunarodnye pravila upravleniya biznesom, zhiznedeyatel'nost'yu organizacij // Vestnik Nacional'noj inzhenernoj akademii Respubliki Kazahstan. – 2016. – № 4 (62). – S. 126-131.

4 Solov'ev V.I. Kak gotovit' gramotnyh upravlencev so studencheskoj skam'i // Business Excellence. – 2018. – № 11. – S. 22–25.

5 Solov'ev V.I. Nuzhno li primenyat' ISO 9001 v organizacijah? // Standarty i kachestvo. – 2018. – № 7. – S. 68–71.

6 Solov'ev V.I. «ISO 9001 plus» – instrument mnogourovneвого razvitiya organizacii // Standarty i kachestvo. – 2019. – № 9. – S. 82–84.

7 Solov'ev V.I. Zadacha – stat' peredovoj ekonomikoj mira // Standarty i kachestvo. – 2016. – № 10. – S. 11–13.

8 Solov'ev V.I. Vokrug da okolo sistemnogo menedzhmenta – ISO 9001// Standarty i kachestvo. – 2023. – № 6. – S. 104–107.

9 Voronin G.P., Kiseleva T.V. Nravstvennost' – glavnyj kriterij kachestva // Standarty i kachestvo. – 2022. – № 1. – S. 68–71.

10 Efanova I. «Vestnik standartizacii» v epohu Gasteva: na puti k likvidacii komiteta// Standarty i kachestvo. – 2016. – № 10 (952). – S. 40–44.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Абдияхметова З. М. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, факультет информационных технологий, Алматы, Казахстан;
2. Абдрешова С. Б. – PhD, и.о. доцента, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
3. Аден А. Е. – Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан;
4. Азиева Н. Т. – Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
5. Аймал Раса Г. Х. – Кабульский педагогический университет, Кабул, Афганистан;
6. Алдай М. – к.ф.-м.н., доцент кафедры «Фундаментальная математика» Евразийского национального университета им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан;
7. Аманов Б. О. – магистр, ст. преподаватель кафедры механики, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
8. Амандиков М. А. – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Информатика и математика» Университета Дружбы народов имени академика А.Куатбекова, Шымкент, Казахстан;
9. Аманова Р. Т. – докторант КазНУ имени аль-Фараби , сеньор лектор, УО Каспийский общественный университет, Алматы, Казахстан;
10. Ахметов Б. С. – Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан;
11. Байназарова И. К. – ст. преподаватель, Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
12. Байшолан Н. – докторант, факультет информационных технологий КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

13. Байшоланова К. С. – д.э.н., доцент, факультет информационных технологий КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
14. Бакирова Г. С. – Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;
15. Бармаганбетов Е. Т. – магистр, Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
16. Бектемысова Г. У. – Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан;
17. Беркимбаев К. М. – Международный казахско-турецкий университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;
18. Бургумбаева С. К. – PhD, доцент кафедры «Высшая математика» Евразийского национального университета им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан;
19. Витулёва Е. С. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
20. Досмагамбет Н. К. – магистр, докторант 2 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
21. Достанова С. Х. – Сатпаев Университет, Алматы, Казахстан;
22. Еркишева Ж. С. – Международный Казахско-Турецкий университет им. А.Ясави, Туркестан, Казахстан;
23. Ермуханбетова Ш. Е. – Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казахстан;
24. Жолдасов Е. Н. – магистр, предприниматель, Шымкент, Казахстан;
25. Жумадилаева А. К. – к.т.н, доцент, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
26. Жумабек Д. Е. – СЗГМУ им. Мечникова. Санкт-Петербург, Россия;
27. Жумашева Ж. Т. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
28. Жунисов Н. М. – Международный казахско-турецкий университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;

29. Исаханова Д. Е. – КазНМУ им. С.Д. Асфендиярова, Алматы, Казахстан;
30. Искендерова Севиль Афлатын – Национальная Авиационная Академия, Баку, Азербайджан;
31. Кадыржан А. Б. – Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан;
32. Кадыржан К. Н. – Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Алматы, Казахстан;
33. Казбекова Г. Н. – Международный казахско-турецкий университета имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;
34. Кайбасова Д. Ж. – PhD, и.о. доцента кафедры информационно-вычислительных систем, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан;
35. Калбаева А. Т. – к.т.н., ассоц. профессор, Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
36. Карымсакова Н. Т. – PhD, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
37. Колбаев Н. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
38. Кошанова М. Д. – к.т.н., доцент, МКТУ им. К.А.Ясави, Туркестан, Казахстан;
39. Куракбаева С. Д. – к.т.н., ассоц. профессор, Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
40. Кыдыралина Л. М. – Университет Шакарима, Семей, Казахстан;
41. Кызылбек Н. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
42. Лахно В. А. – Национальный университет биоресурсов и природопользования, Киев, Украина;
43. Лисицына Л. С. – д.т.н., профессор Национального исследовательского университета ИТМО (Санкт-Петербург, Российская Федерация);

-
44. Мангышева Ж. С. – Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан;
45. Мансурова М. Е. – ассоц.профессор, зав.кафедрой ИИ и Big Data, КазНУ имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
46. Молдабеков М. М. – Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан;
47. Mohamed Othman – профессор, университет Путра Малайзия, Куала-Лумпур, Малайзия;
48. Муратбекова М. А. – PhD, ст. преподаватель, МКТУ им. К.А.Ясави, Туркестан, Казахстан;
49. Назарова К. Ж. – Международный Казахско-Турецкий университет им. А.Ясави, Туркестан, Казахстан;
50. Ниязова Р. С. – Евразийский национальный университет им. Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
51. Нуримов Б. С. – PhD, доцент кафедры «Фундаментальная математика» Евразийского национального университета им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан;
52. Оразалы Е. Е. – Алматинский университет энергетики и связи им. Г. Даукеева, Алматы, Казахстан;
53. Оралбекова Ж. О. – Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
54. Рахматулла З. А. – магистр, докторант 1 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
55. Сабитова Н. Ж. – Евразийский национальный университет им. Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
56. Сагитжанов Б. М. – магистр, докторант 3 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
57. Сейпишева Э. К. – м.т.н., ст.преподаватель кафедры информационно-вычислительных систем, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан;
58. Сулейменова М. У. – докторант КазГУ, сеньор-лектор, МУИТ, Алматы, Казахстан;

59. Сулейменов И. Э. – Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;
60. Сухенко А. С. – Институт космической техники и технологий, Алматы, Казахстан;
61. Таймуратова Л. У. – Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова, Актау, Казахстан;
62. Темирбекова Ж. Е. – Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Факультет информационных технологий, Алматы, Казахстан;
63. Тихонов Ю. Л. – Луганский национальный университет им. Шевченко, Киев, Украина;
64. Толенов С. А. – магистр, докторант 3 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
65. Толеушова А. М. – магистр, докторант 2 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
66. Туенбаева К. – Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
67. Тунгушбаева Д. И. – ст. преподаватель кафедры «Высшая математика» Евразийского национального университета им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан;
68. Турметов Б. Х. – д. ф.-м. н., профессор, МКТУ им. К.А.Ясави, Туркестан, Казахстан;
69. Томилова Н. И. – к.т.н., доцент кафедры информационно-вычислительных систем, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан;
70. Умарова Ж. Р. – PhD, ассоц. профессор, Южно-Казахстанский университет имени М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
71. Усманов К. И. – Международный Казахско-Турецкий университет им. А.Ясави, Туркестан, Казахстан;
72. Умуткулов Д. Б. – Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;
73. Шалтыкова Д. Б. – Национальная инженерная академия Республики Казахстан, Алматы, Казахстан;

-
74. Шолпанбаев Б. Б. – Казахский национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан;
75. Шынторе Г. А. – Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан;
76. Шырын Б. А. – докторант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| <i>Б. Т. Жумагулов. Прометей казахстанской науки</i> | 5 |
| ИНФОРМАЦИОННЫЕ-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ | |
| <i>З. М. Абдияхметова, Ж. Е. Темирбеков, Г. Х. Аймал Раса. Использование микроконтроллера ATMEGA 328 для эффективного обучения студентов</i> | 11 |
| <i>Н. Т. Азиева, Ж. О. Оралбекова, Б. Б. Шолпанбаев. Применение георадиолокационных технологий для изучения внутреннего строения плотины озера</i> | 20 |
| <i>Б. О. Аманов, С. Ә. Толенов, Б. М. Сагитжанов, Е. Н. Жолдасов, Ж. Т. Жумашева, А. М. Толеушова, Н. Қ. Досмагамбет, З. А. Рахматулла. Кинематика руки гуманоидного робота с шестью степенями свободы</i> | 27 |
| <i>Р. Т. Аманова, Н. Т. Карымсакова, С. Б. Абдрешова. Прогресс в области IoT-управляемых роботов-манипуляторов и проектирования ИОТ манипулятора для ирригации минитеплиц</i> | 36 |
| <i>Н. Байшолан, К.С. Байшоланова. Применение скрытой марковской модели против Фрода</i> | 47 |
| <i>Г. У. Бектемысова, Г. С. Бакирова, Ш. Е. Ермуханбетова, Г. А. Шынто-ре, Д. Б. Умуткулов, Ж. С. Мангышева. Анализ актуальности и перспективы применения федеративного обучения</i> | 56 |
| <i>Севи́ль Афлаты́н Искендерова. Взаимосвязь между системой автоматического управления и ее интеграцией на беспилотных летательных аппаратах</i> | 66 |
| <i>Г. Н. Казбекова, К. М. Беркимбаев, Н. М. Жунисов. Применение виртуального обучения в образовании</i> | 75 |
| <i>Д. Ж. Кайбасова, Л. С. Лисицына, Н. И. Томилов, Э. К. Сейтшиева. Исследование структурных элементов образовательного контента для формирования корпуса документов</i> | 84 |
| <i>А. Т. Калбаева, Е. Т. Бармаганбетов, Ж. Р. Умарова, С. Д. Куракбаева, М. А. Амандиков, И. К. Байназарова. Автоматизация разделения пула IP-адресов на подсети: эффективное управление</i> | 96 |
| <i>Н. Колбаев, К. Туенбаева, Н. Кызылбек. Моделирование развития электронных академических библиотек</i> | 106 |
| <i>Н. Ж. Сабитова, Р. С. Ниязова, Б. С. Ахметов, В. А. Лахно, Ю. Л. Тихонов, Л. М. Кыдыралина, Л. У. Таймуратова. Модель подготовки электронных курсов в предметной области ИКТ на основе компьютерной онтологии</i> | 122 |

М. У. Сулейменова, М. Е. Мансурова. Искусственный интеллект как инструмент исследования признаков старения 135

Б. Шырын, А. Жумадилаева, М. Ойтман. Сравнение контроллеров sdn: оценка производительности и функциональности 146

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

С. К. Бургумбаева, Д. И. Тунгушбаева, М. Алдай, Б. С. Нуримов. Краевые задачи для гармонических дифференциальных уравнений третьего порядка 161

Е. С. Витулёва, К. Н. Кадыржан, А. Б. Кадыржан, Д. Б. Шалтыкова, И. Э. Сулейменов. Диагностика подповерхностных объектов при помощи беспилотных летательных аппаратов: использование методов обобщенной Фурье-оптики 179

С. Х. Достанова, Д. Е. Исаханова, Д. Е. Жумабек. Механические модели к исследованию деформаций и морфологической структуры оболочки глаза 188

М. Д. Кошанова, М. А. Муратбекова, Б. Х. Турметов. Прямые и обратные задачи для двумерного параболического уравнения с инволюцией 202

М. М. Молдабеков, А. С. Сухенко, Е. Е. Оразалы, А. Е. Аден. Необходимые и достаточные условия глобальной асимптотической устойчивости нелинейной системы управления ориентацией спутника 218

И. М. Орман, С. А. Боранбаев, И. Г. Курмашев, А. Л. Карчевский. Калибровка источника зондирования георадара 226

К. И. Усманов, К. Ж. Назарова, Ж. С. Еркишева. Об условии разрешимости краевой задачи типа Дирихле для дифференциальных уравнений с инволюцией 234

ЭКОНОМИКА

В. И. Соловьев, Е. В. Ткач. Все, что мы имеем – результат качества системного менеджмента ISO 9001 245

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ..... 254

CONTENTS

| | |
|---|-----|
| <i>B. Zhumagulov. Prometheus of Kazakh science</i> | 5 |
| INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES | |
| <i>Z. Abdiakhmetova, Zh. Temirbekova, G. H. Aimal Rasa. Using ATMEGA 328 microcontroller for effective student learning</i> | 11 |
| <i>N. T. Aziyeva, Z. O. Oralbekova, B. B. Sholpanbaev. Application of the gpr technologies to study the internal structure of the lake dam</i> | 20 |
| <i>B. O. Amanov, S. A. Tolenov, B. M. Sagitzhanov, E. N. Zholdasov, Zh. T. Zhumasheva, A. M. To-leushova, N. K. Dosmagambet, Z. A. Rahmatulla. Kinematics of a humanoid robot arm with six degrees of freedom</i> | 27 |
| <i>R. T. Amanova, N. T. Karymsakova, S. B. Abdreshova. Progress in IoT-controlled robot manipulators and iot manipulator design for irrigation of mini greenhouses</i> | 36 |
| <i>N. Baisholan, K. S. Baisholanova. Application of the hidden markov model against Fraud</i> | 47 |
| <i>G. U. Bektemyssova, G. S. Bakirova, Sh., G. Yermukhanbetova, A. Shyntore, D. B. Umutkulov, Zh. S. Mangysheva. Analysis of the relevance and prospects of application of federate training</i> | 56 |
| <i>Sevil Aflatin Isgandarova. Relationship between the automatic control system and its integration on unmanned aircraft vehicles</i> | 66 |
| <i>G. N. Kazbekova, K. M. Berkimbayev, N. M. Zhunissov. The use of virtual environment in education</i> | 75 |
| <i>D. Zh. Kaibassova, L. S. Lisitsyna, N. I. Tomilov, E. K. Seipisheva. Research of structural elements of educational content for forming the corpus of documents</i> | 84 |
| <i>A. T. Kalbayeva, Y. T. Barmaganbetov, Zh. R. Umarova, S. D. Kurakbayeva, M. A. Amandikov, I. K. Bainazarova. Automation of division of an IP address pool into subnets: efficient management</i> | 96 |
| <i>N. Kolbayev, K. Tuyenbayeva K., N. Kyzylbek. Modeling the Development of Electronic Academic Libraries</i> | 106 |
| <i>N. Zh. Sabitova, R. S. Nyazova, B. S. Akhmetov, V. A. Lakno, Y. L. Tikhonov, L. M. Kydyralina, L. U. Taimuratova. A model for preparing e-courses in the ict subject area based on computer ontology</i> | 122 |
| <i>M. U. Suleimenova, M. E. Mansurova. Artificial intelligence as a tool for researching premature aging</i> | 135 |

| | |
|---|-----|
| <i>B. Shyryn, A. Zhumadillayeva, M. Othman.</i> Comparison of sdn controllers: performance and functionality evaluation | 146 |
|---|-----|

APPLIED MATHEMATICS

| | |
|---|-----|
| <i>S. K. Burgumbayeva, D. I. Tungushbayeva, M. Aldai, B. S. Hurimov.</i> Boundary value problems for the harmonic differential equations of the third order | 161 |
| <i>E. S. Vitulyova1, K. N. Kadyrzhan, A. B. Kadyrzhan, D. B. Shaltykova, I. E. Suleimenov.</i> Diagnostics of subsurface objects using unmanned aerial vehicles: using generalized Fourier optics methods | 179 |
| <i>S. H. Dostanova, D. E. Isakhanova, D. E. Zhumabek.</i> Mechanical models for the study of deformations and morphological structure of the eye shell | 188 |
| <i>M. Koshanova, M. Muratbekova, B. Turmetov.</i> Direct and inverse problems for a two-dimensional parabolic equation with involution | 202 |
| <i>M. Moldabekov, A. Sukhenko, Y. Orazaly, A. Aden.</i> Necessary and Sufficient conditions for global asymptotic of nonlinear satellite orientation control system stability | 218 |
| <i>I. M. Orman, S. A. Boranbayev, I. G. Kurmashev, A. L. Karchevsky.</i> Gpr sounding source calibration | 226 |
| <i>K. I. Usmanov, K. Zh. Nazarova, J. S. Erkisheva.</i> On the condition for solvability of a boundary value problem of Dirichlet type for differential equations with involution | 234 |

ECONOMY

| | |
|--|-----|
| <i>V. I. Solovyev, E. V. Tkach.</i> Everything we have is the result of iso 9001 system management quality | 245 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| THE INFORMATION ABOUT AUTHORS | 254 |
|--|-----|

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 10.06.2024
Гарнитура Таймс. Формат 70x100 ¹/₁₆.
Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии ТОО «Luxe Media Publishing»