



Қазақстан Республикасы
Ұлттық инженерлік академиясының

ХАБАРШЫСЫ

ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии
Республики Казахстан

№ 1 (91)

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. В. Болотов**, академик **А. И. Васильев** (Украина), академик **Б. В. Гусев** (Россия), академик **Г. Ж. Жолтаев**, академик **В. Ч. Вуйцик** (Польша), академик **К. К. Кадыржанов**, академик **К. С. Кулажанов**, академик **А. А. Кулибаев**, академик **М. М. Мырзахметов**, академик **Х. Милошевич** (Сербия), академик **Г. А. Медиева**, академик **А. М. Пашаев** (Азербайджан), академик **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. V. Bolotov**, academician; **A. I. Vasilyev**, academician (Ukraine); **B. V. Gusev**, academician (Russia); **G. Zh. Zholtayev**, academician; **Wójcik Waldemar** academician (Poland); **K. K. Kadyrzhanov**, academician; **K. S. Kulazhanov**, academician; **A. A. Kulibayev**, academician; **M. M. Myrzakhmetov**, academician; **H. Miloshevich**, academician (Serbiya); **G. A. Mediyeva**, academician; **A. M. Pashayev**, academician (Azerbaijan); **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

ЭРА ИНЖЕНЕРА

Анализ мирового развития показывает, что в последние пятнадцать – двадцать лет особую значимость приобрел тренд усиленного внимания к инженерному делу, выводу его на новые качественные уровни. Президент Казахстана Касым-Жомарт Токаев закономерно ставит перед страной задачу: «...Приоритет нужно отдать техническим профессиям. Предстоит взрастить новое поколение инженеров, промышленников».

Об этой тенденции свидетельствуют доклады ЮНЕСКО по развитию инженерного дела 2010 и 2021 годов. В частности, в них отмечено, что «...назрела острая необходимость в новой парадигме инженерного дела, такой, которая по своему подходу будет меж- и мультидисциплинарной, давая возможность решать высокосложные задачи». XXI век часто называют веком новых технологий, основанных на синтезе ключевых факторов современности – информационных потоков, средств обработки больших данных, включая искусственный интеллект, новых процессов, новых технологий управления и стратегий развития. Все эти факторы требуют новых инженеров, отвечающих требованиям времени. Как уже известных, так и новых специальностей.

Но это дела общемировые. Что же у нас в Казахстане? А ведь и перед нами стоят цели, выводящие на подобную же траекторию. Поставлены задачи стать готовыми к совершенно новой конъюнктуре мирового рынка, создать по-настоящему диверсифицированную, технологичную экономику с опорой на рост производительности труда, ускоренное развитие обрабатывающего сектора, повышение добавленной стоимости, более высокие переделы. Это можно назвать настоящими суперзадачами, которые требуют суперспециалистов. А в этом у нас пока серьезные трудности.

На чем же, по моему мнению, следует сосредоточиться в решении данной проблемы? Здесь видны пять ключевых направлений:

Первое – системная оценка обеспеченности и прогнозных потребностей экономики и ее отраслей в специалистах-инженерах; второе – особое внимание статусу инженерного труда; третье – новый уровень обучения и подготовки специалистов; четвертое – новая система повышения квалификации и переподготовки действующих

инженеров как части «образования в течение жизни»; пятое – системная и массовая пропаганда и популяризация технических знаний и инженерной деятельности.

По первому направлению у нас есть просто вопиющие факты недообеспеченности кадрами не только отдельных предприятий, но и целых отраслей и подотраслей экономики. Так, заслуживает особого внимания строительная отрасль, и прежде всего сфера сейсмостойкого строительства, водоснабжение и водосбережение, теплоснабжение городов и поселков страны. Проблемы отсутствия профессиональных инженерных кадров в этом деле и последствий уже поднимались в депутатских запросах.

Аналогичный случай – минерально-сырьевой комплекс и геологическая отрасль, где наша страна в начале 90-х годов имела ведущие позиции в Советском Союзе. Инженеров-геологов у нас насчитывалось около ста тысяч. Сегодня же в отрасли официально констатируется «слабый инженерно-технический и управленческий потенциал на всех уровнях» (!).

И это, еще не говоря о перспективных направлениях развития страны. Поэтому вопрос системного и постоянно обновляемого (жизнь-то не стоит на месте) анализа и прогноза кадрового инженерного обеспечения в Казахстане, по нашей оценке, является сверхактуальным. Именно его результаты должны задавать ключевые ориентиры в реализации всех остальных направлений.

По второму направлению у нас в сопоставлении с передовыми странами имеются серьезные проблемы со статусом инженерного труда. Например, Япония дефицит разработчиков программного обеспечения планирует покрыть за счет зарубежных специалистов. Вероятно, и наших сограждан тоже, поскольку в этой стране инженерный труд имеет высокий статус и вознаграждается неплохо (в среднем 5,5 тысячи долларов в месяц). Средняя зарплата у инженеров в Германии – 4,6 тысячи евро в месяц, чуть меньше в других странах ЕС. А у айтишников – еще выше: в Израиле – 7 тысяч, в Швейцарии – 8 тысяч, в США – 10 тысяч долларов. В Казахстане – 360 тыс. тенге, что по курсу составляет \$0,8 тысячи. Даже корректировка на паритет покупательной способности не помогает, увы.

Где же брать кадры мирового класса? Заманивать большими ставками вряд ли сможем. Остается готовить, увлекать прямо со школьной скамьи. А для этого обязательным условием является создание привлекательности инженерного труда, повышение статуса инженера. Только после этого в инженерии появится нужный приток кадров. И зарплата – не единственный критерий, надо думать и о карьерном росте, и о социальных условиях. Всем этим надо экстренно заняться, в том числе и законодательно.

Третье направление – новый уровень подготовки специалистов требует прежде всего самой четкой ориентации на конкретные требования производства, работодателей. В этом деле должны быть задействованы и учебный процесс, и практика, и трудоустройство выпускников.

Для целевой подготовки инженеров нужно существенно усилить взаимодействие производственной и образовательной сферы. Здесь уже есть первые подвижки. На фоне нехватки инженерных кадров в 2023 году на базе Vaitursynov university был создан Консорциум в области машиностроения, в который вошли Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, ТОО «СарыаркаАвтопром»,

«АгромашХолдинг KZ», «KAMLIT KZ», Костанайский колледж автомобильного транспорта. В рамках Консорциума, в частности, реализуется проект «Инженерная академия», предусматривающий раннюю профориентацию школьников.

В свете идущей цифровизации надо обратить повышенное внимание на качественную подготовку инженеров IT сферы. Тем более что она (в том числе Центр Astana Hub в Астане) уже приносит Казахстану реальный доход в сотни миллионов долларов за год. И Президентом Касым-Жомартом Токаевым поставлена задача в ближайшее время выйти на годовой доход \$1 млрд.

Надо задуматься и о квалификации вузовских кадров для подготовки инженеров, о программах и методиках, приближающихся к реальным производственным процессам. Нужна подготовка не только инженеров, но и будущих руководителей, менеджеров и новаторов для данной сферы.

По четвертому направлению надо основательно взяться за систему «образование в течение жизни» для инженерного корпуса. Потому что бурный научно-технический прогресс и острейшая технологическая конкуренция на мировой арене требуют от специалистов постоянного самосовершенствования, профессионального роста, обновления знаний и информации.

И очень важное значение, безусловно, имеет пятое направление – пропаганда и популяризация технических знаний и инженерной деятельности.

Она должна носить небывалый еще у нас системный и массовый характер, четкую целенаправленность на подъем инженерного дела, вовлечение в него молодежи и взрослых, ознакомление бизнеса с новейшими разработками, методами развития инноватики, управления и кадрового обеспечения.

Поучителен еще не забытый советский опыт научно-технической популяризации. Для широкой пропаганды технических знаний уже с 1920-х годов было организовано издание тематической периодики. Немало специализированных журналов было ориентировано на школьников и молодежь, чтобы вызвать интерес к инженерии и конструкторскому делу с ранних лет. Впечатляющими были такие журналы, как «Знание – сила», «Наука и жизнь», «Техника молодежи», «Юный техник», «Моделист-конструктор»... Об их пользе можно судить по тому, что в 1991 году Япония выкупила полный архив журналов «Юный техник» и «Моделист-конструктор».

Такая периодика послужила базой для функционирования всевозможных кружков юных техников и конструкторов, секций моделизма и т. д. В вузы приходили не только технически грамотные, но и умеющие уже многое делать своими руками выпускники школ, имеющие серьезную мотивацию учиться, а затем и работать в данной сфере. Весьма достойная жизненная позиция, которой так не хватает сегодня. В этом направлении обязательно надо возрождать самые настойчивые усилия государства, бизнеса и общества.

В целом же, уверен, нужна государственная политика системной поддержки инженерной деятельности, ее направления в нужное русло. И эта политика должна быть подкреплена соответствующим правовым, институциональным и инфраструктурным обеспечением.

В успехе задуманного не сомневаюсь, ведь налицо определяющий фактор – полная поддержка руководства Казахстана и лично Президента. Ключевым для ренессан-

са инженерной профессии стало выступление Главы государства 11 января 2022 года на заседании Мажилиса Парламента РК. В нем было объявлено об удвоении числа государственных образовательных грантов для технических специальностей, переностройке программы «Болашак» в поддержку инженерного образования и расширении в республике сети филиалов передовых технических вузов. Более того, Президент сам стал проводником объявленного им курса на укрепление отечественной инженерии. В ходе государственного визита в КНР в мае прошлого года Касым-Жомарт Кемелевич договорился с китайским руководством о создании филиала Северо-Западного политехнического университета на базе КазНУ имени аль-Фараби. В том же году филиал приступил к работе.

Многое может сделать и Национальная инженерная академия Республики Казахстан (НИА РК), которой в ноябре 2023 года исполнилось 33 года и которая весь этот период консолидировала инженерное сообщество.

Основа академии была заложена крупнейшими учеными, членами Парламента и Правительства, руководителями предприятий, объединений, НИИ, вузов. Сегодня мы с особой благодарностью вспоминаем ее учредителей – их было 26. Прежде всего это академик У. Джолдасбеков – один из вдохновителей инженерного движения на международной арене и в Казахстане, выдающийся ученый и организатор высшей школы.

Убеждение в том, что выиграть жесточайшую конкуренцию на мировом рынке можно только при активном участии передовой науки, технологическом преобразовании производства и решительном повышении творческой активности инженерного корпуса республики, стало основой создания академии. Перед наукой и инженерами открылись широкие горизонты. Была обозначена главная цель – стать «мостом» между наукой и практикой, системно содействовать разработке и внедрению достижений науки в производство, напрямую участвовать в формировании и реализации научно-технологической политики страны. С тех пор эта цель неизменна.

Во всех регионах, где находятся крупные промышленные предприятия, создавались инженерные и научно-технические центры, в них вошли организации, которые позволили замкнуть цикл «наука – производство»: акционерные научно-технические общества, аналитические центры, технопарки и другие предприятия. Тогда же родилась идея создания Межотраслевого научно-технического совета по проблемам развития промышленности, энергетики, транспорта и коммуникаций (МНТС) при Правительстве. Важным решением было определить рабочим органом совета инженерную академию. МНТС позволил сохранить ряд отраслевых НИИ и профессиональные научно-технические кадры, сконцентрировав ограниченные бюджетные средства на наиболее актуальных научно-технических разработках. И главное – благодаря этой инициативе Казахстану удалось во многом сохранить потенциал отраслевой инженерной науки.

Сегодня в структуре Академии действуют 13 областных филиалов, 35 научно-технических и инженерных центров, 10 отраслевых отделений НИА РК, охватывающих все основные направления экономики страны.

НИА РК сотрудничает с Международной инженерной академией, Федерацией инженерных институтов исламских стран (ФЕИС), Европейским союзом инженерных

академий, является ассоциированным членом CAETS – Всемирного совета академий инженерных и технологических наук (США), имеет научные контакты с десятками авторитетных международных и национальных организаций мира.

Инженеры и ученые Академии постоянно вносят заметный вклад в совершенствование законодательства о науке и коммерциализации ее достижений, об образовании, об инновационной и патентной деятельности и по многим другим направлениям. Члены НИА РК привлекаются к экспертизе научных проектов, проводимых Национальными научными советами (ННС).

С учетом солидного опыта деятельности и интегрирования инженерного корпуса Академия готова взять на себя роль координатора объединения усилий в подготовке современных конкурентоспособных специалистов.

Считаем, что стоящие задачи требуют принципиального совершенствования подходов и повышения ответственности основных акторов системы подготовки и использования специалистов инженерного профиля – организаций высшего и послевузовского образования, с одной стороны, и предприятий-работодателей – с другой. Именно в такой связке генерируются основные факторы – материально-техническая, кадровая и методологическая база подготовки специалистов, содержание их образования и эффективное его использование. При этом ключевые задачи целесообразно решать на основе государственно-частного взаимодействия с широким кругом участников. Ведь актуальные мировые парадигмы инженерного образования однозначно показывают необходимость резкого повышения качества подготовки инженеров в соответствии с запросами рынка, критериями современных и перспективных технологий производства и управления. А это требует объединения усилий организаций образования и работодателей, подключения государства и научно-инженерного общества, освоения новых форм и методов совместной работы.

В числе таких форм важно отметить филиалы вузовских кафедр на передовых предприятиях. Руководству университетов инженерно-технической направленности полезно будет обратить внимание и на создание на предприятиях научно-образовательных центров как базы для практики студентов и проведения целевых научно-инженерных разработок в интересах конкретного производства. В таких центрах необходимо будет создавать условия для обучения и проживания направляемых в них студентов и сотрудников. Сегодня в этом направлении активно продвигается Сатпаев университет.

Еще один важный аспект взаимодействия государства, бизнеса и образования – разработка и совершенствование профессиональных стандартов, которые определяются с участием работодателей и становятся основой учебных программ вузов. В этом плане Национальная палата предпринимателей РК «Атамекен» и отраслевые объединения работодателей должны усилить координацию деятельности по разработке профессиональных стандартов инженерно-технических направлений, чтобы максимально обеспечить их соответствие современным требованиям и одновременно запросам конкретных казахстанских работодателей.

НИА РК имеет в своем составе мощный потенциал – свыше 300 ведущих ученых и специалистов-практиков инженерно-технического и производственного профиля, в том числе более 200 докторов наук, руководителей и специалистов крупнейших

предприятий и высших учебных заведений страны. Среди членов академии немало выпускников ведущих технических вузов передовых зарубежных стран и ныне поддерживающих прочную связь с авторитетными центрами обучения и научно-технического прогресса. В силу этого академия способна стать связующим звеном в координации усилий вузов и предприятий-работодателей, направленных на развитие инженерного образования, взаимодействия с государственными структурами, зарубежными и международными центрами в данной сфере.

Такое партнерство при системной поддержке государства не только возможно, но и необходимо в ключевых и системообразующих направлениях технологического развития, подготовки и использования современных инженерных кадров страны.

*«Литер» № 23 (4421)
от 27 февраля 2024 года*

ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.056.5

<https://doi.org/10.47533/2024.1606-146X.01>

**С. А. АДИЛЖАНОВА^{1*}, Л. Ш. ЧЕРИКБАЕВА¹, М. Ж. САКЫПБЕКОВА¹,
Г. А. ТЮЛЕПБЕРДИНОВА¹, Б. Д. ШАРИПОВА², В.А. ЛАХНО³**

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

²Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;

³Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
asaltanat81@gmail.com, lailash01@gmail.com, sakypbekova.meruyert@gmail.com,
tyulepberdinova@gmail.com, Birjzn2103@mail.ru, lva964@gmail.com

КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ СТОРОНЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА ОБЪЕКТАХ ИНФОРМАТИЗАЦИИ

В статье рассматривается система поддержки принятия решений в процессе распределения ресурсов стороны защиты информации для конкретного объекта информатизации, которая создается с целью ее использования любыми заинтересованными лицами во всех учреждениях или предприятиях, для которых актуальна задача поиска рациональной стратегии распределения ресурсов стороной защиты в условиях роста количества и сложности деструктивных воздействий на информационные ресурсы со стороны компьютерных злоумышленников. Выбор рациональной стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты объектов информатизации реализован с помощью: программной реализации аналитических моделей, использования экспертных подсистем систем; генерации сценариев путем комбинации различных моделей, заданных лицом, принимающим решение, или взятых из базы знаний система поддержки принятия решений.

Ключевые слова: система поддержки принятия решений, кибербезопасность, объекты информатизации.

Введение. Система поддержки принятия решений призвана решить следующие задачи: создание баз знаний и баз данных, баз по различным ситуациям, связанным с выбором стратегии распределения ресурсов стороны защиты информации, разработка программного обеспечения для ведения единого электронного архива стратегий динамического распределения ресурсов стороны защиты объекты информатизации с разграничением доступа пользователей; создание единого информационного пространства в сфере учета рациональных стратегий распределения ресурсов стороны защиты информации, обеспечения информационного взаимодействия между под-

* E-mail корреспондирующего автора: asaltanat81@gmail.com

системами, системами поддержки принятия решений за счет внутренней стандартизации форматов данных и протоколов обмена; обеспечение системности, комплексности и согласованности развития информатизации задачи распределения ресурсов стороны защиты информации с использованием традиционных форм и методов сопровождения и контроля.

Методика и результаты исследования. Основные функции системы поддержки принятия решений для программ информационной и кибернетической безопасности обычно регламентируют исходя из необходимости соблюдения: принципов комплексного анализа проблематики кибербезопасности; возможностей комбинирования формальных и неформальных методов, используемых в процессе поддержки принятия решений; принципов достоверности и актуальности информации, касающейся текущего состояния проблемы. При этом как правило используют всевозможные отчеты, статистические данные, аналитические обзоры, а также данные, получаемые от подсистем мониторинга; принципов автоматизированного выбора методов и моделей для интеллектуализации поддержки принятия решений; принципов дальнейшего развития состояний системы поддержки принятия решений; принципов динамического управления системы поддержки принятия решений с целью повышения эффективности ее функционирования и обоснованности получаемых рекомендаций и выводов, которые могут быть использованы лицом, принимающим решение, в процесс выработки управляющих воздействий; потенциала модулей анализа, оперативного управления и контроля над решаемой задачей [1].

Для обеспечения полноценного функционирования системы поддержки принятия решений должна, как правило, включать в себя следующие основные модули и подсистемы (см. рис. 1).

1. Модули базы данных, базы знаний, базы моделей и правил, используемых для принятия решения.
2. Систему управления интерфейсом, которая проектируется исходя из архитектуры система поддержки принятия решений – локальная или клиент-серверная.
3. Другие модули и подсистемы, необходимость, которых продиктована спецификой предметной области.

Система поддержки принятия решений должна обеспечивать следующие виды поддержки принятия решений: экспертная поддержка; автоматизированный вывод решения; комбинированное решение.

Ядром системы поддержки принятия решений является база знаний. В данной предметной базе знаний будут аккумулироваться знания экспертов в задачах динамического распределения ресурсов стороны защиты информации. Знания целесообразно представить в формате эвристических правил.

Обучение и накопления новых знаний в базы знаний происходит следующим образом: при рассмотрении конкретной задачи динамического распределения ресурсов стороны защиты информации формируется правило, которое обеспечивает ее решение; разработанные правила в зависимости от специфики конкретной задачи помещаются в базу правил.

Поиск необходимого правила в базе правил системы поддержки принятия решений реализует, например, на основе семантических моделей.

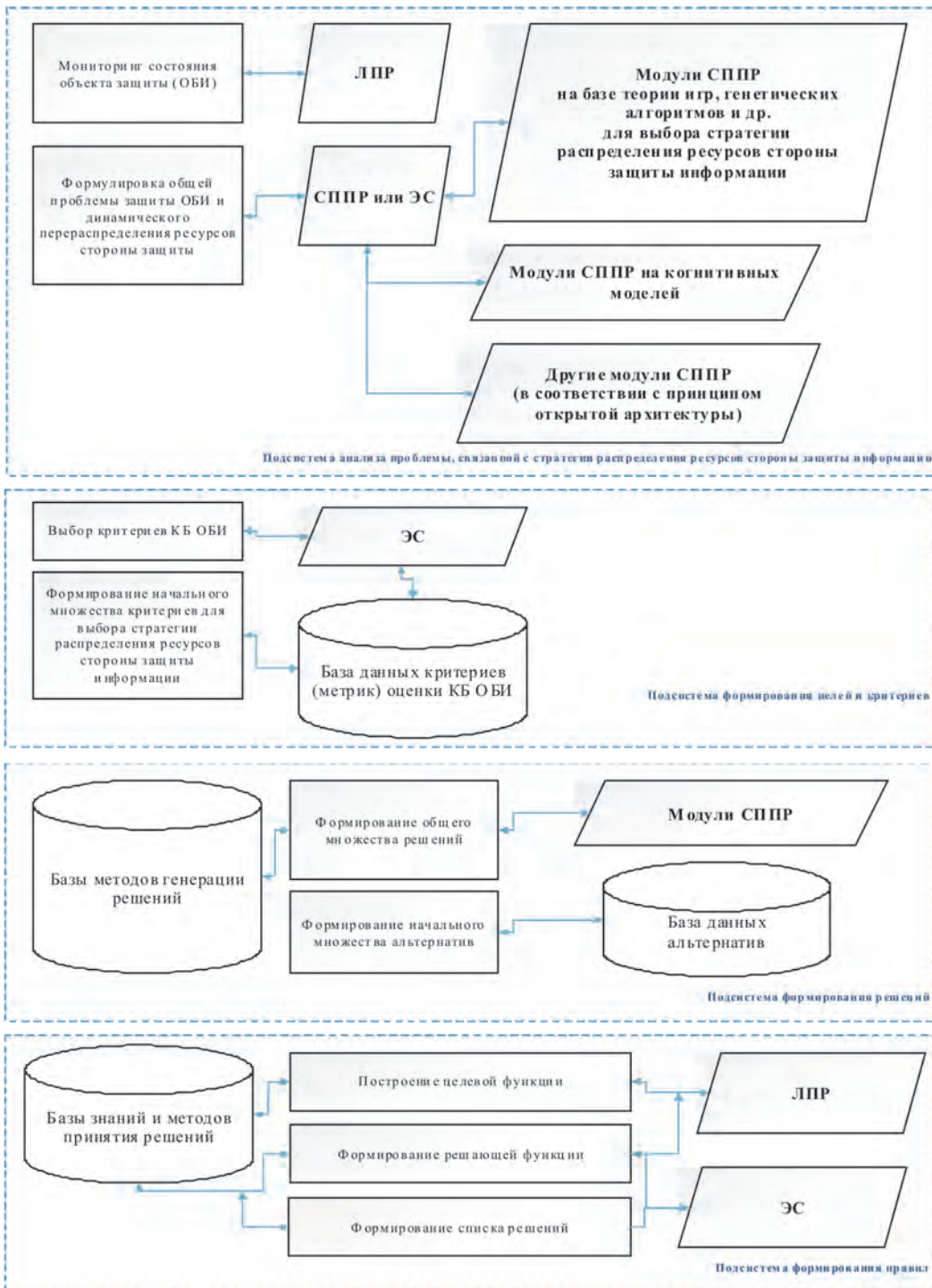


Рисунок 1 – Архитектура системы поддержки принятия решений, касающихся выбора рациональной стратегии распределения ресурсов стороны защиты информации

Блок-схема алгоритма функционирования подсистемы «Анализ проблем и рисков динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации» представлена на рис. 2.

Существует четыре класса наиболее распространенных проблем при динамическом распределении ресурсов стороны защиты информации:

1. Стандартные проблемы. Проблемы этого класса, как правило, требуют применения инструкций, установленных лицом, принимающим решения.

2. Хорошо структурированные проблемы. Проблемы этого класса имеют количественные характеристики и показатели. Для решения подобного класса проблем, как правило, используют экономико-математические методы.

3. Плохо структурированные проблемы. Проблемы этого класса имеют не только количественные, но и качественные характеристики. Для решения подобных проблем необходимо задействовать в система поддержки принятия решений методы системного анализа.

4. Неструктурированные проблемы. Решение подобных проблем влечёт за собой необходимость привлечения экспертов в конкретной предметной области [2].

Подсистема «Анализ проблем и рисков для динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации» должна обеспечивать поиск и формулирование проблемы с целью ее дальнейшего решения. К основным направлениям функционирования данной подсистемы можно отнести:

мониторинг объектов динамического распределения ресурсов стороны защиты информации;

определение количественных критериев и показателей для динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации;

определение источников проблем с реализацией динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации на основе аргументов;

выбор метода формулировки проблемы, связанной с динамическим распределением ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации;

формулировка общей проблемы;

определение степени неопределенности проблемы;

определение отдельных задач в рамках общей проблемы.

После определения проблемы необходимо сформировать перечень целей и систему критериев эффективности реализации динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации. Это необходимо для последующей оценки проблемы и поиска путей ее дальнейшего решения. Для этого в система поддержки принятия решений существует отдельная подсистема – «Формирование целей и системы критериев для оценивания стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации», см. рис. 3.

В ходе формирования цели или множества целей, которых необходимо достигнуть в ходе динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации, могут возникать различные задачи. Эти задачи могут: объединяться; противоречить одна другой; быть взаимоисключающими и т.д. [3]

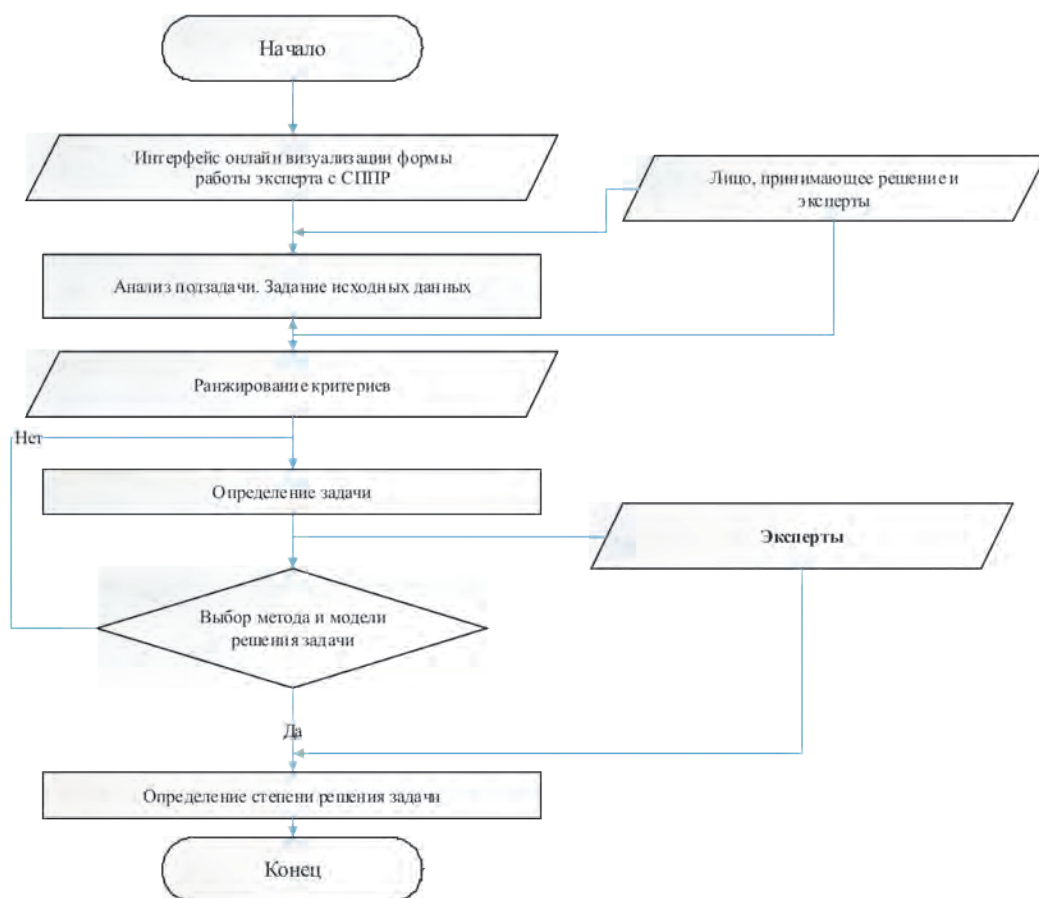


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма функционирования подсистемы «Анализ проблем и рисков для задачи динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации»

Для столь сложной проблематики как поиск рациональной стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации, формирование целей и системы критериев оценки эффективности, целесообразно разделять на: принципиально новые новаторские цели, которые формулируют эксперты; типичные цели, по аналогии с целями, которые возникали в аналогичных ситуациях; комбинированные цели, генерация которых доступна для конкретной системы поддержки принятия решений. Наиболее эффективным способом формирования целей и критериев эффективности являются программные системы во взаимодействии с экспертами.

Для дальнейшего анализа проблемы выбора рациональной стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации, необходимо сформировать альтернативные варианты решений.

Эти альтернативные варианты будут формироваться в подсистеме «Формирование решений, принимаемых в процессе динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации». [4]

Формирование возможных решений для задач поиска рациональных стратегий динамического распределения ресурсов стороны защиты объекта информатизации, в настоящий момент реализовано на основе применения математического аппарата теории игр или динамического программирования.

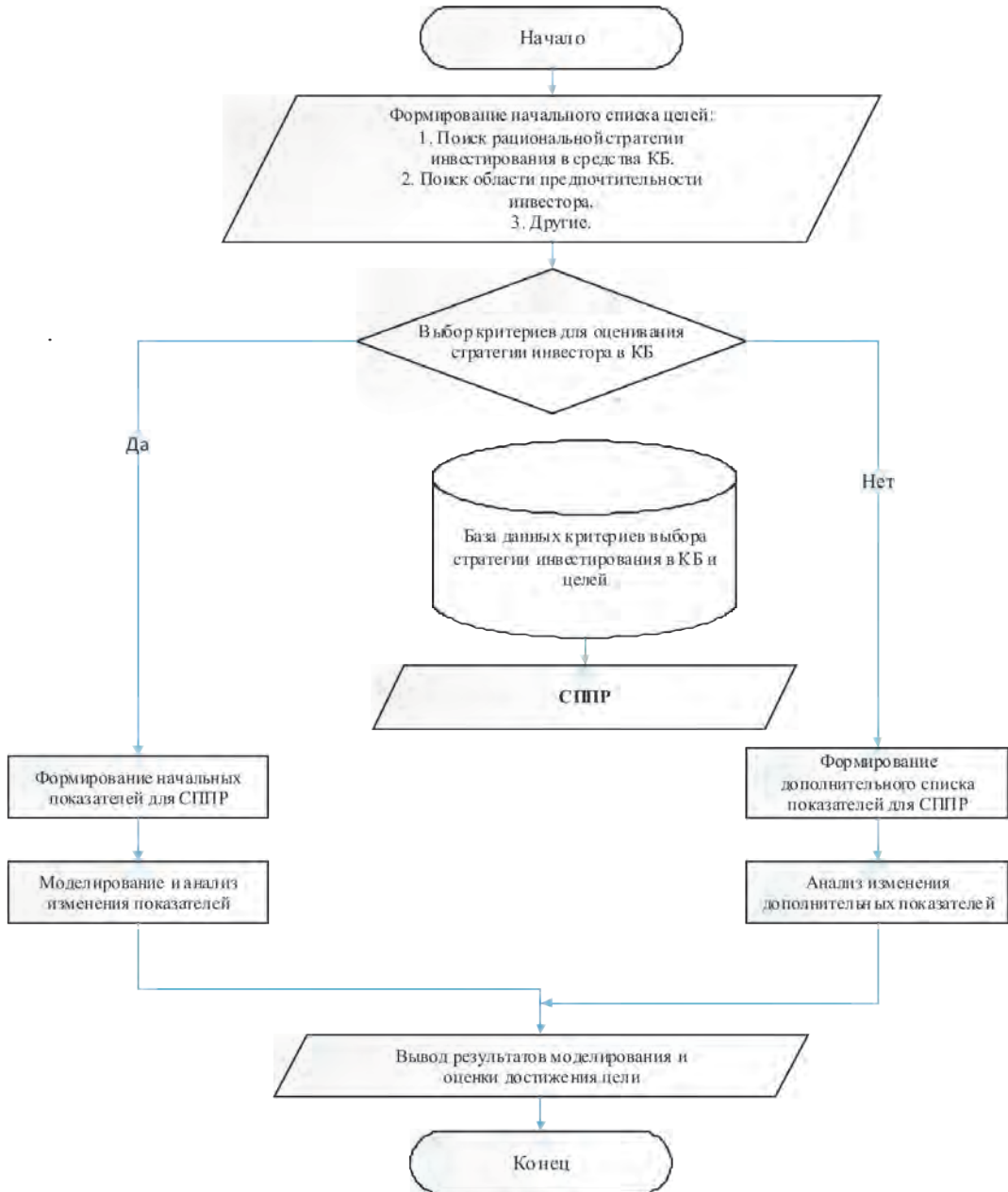


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма функционирования подсистемы «Формирование целей и системы критериев для оценивания стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты информации объекта информатизации»

Процесс формирования решений в система поддержки принятия решений разделен на два вида:

новаторские решения, которые пока система поддержки принятия решений работать не в состоянии (например, модель для ситуации отсутствует пока в базе знаний);

решения, основанные на типовых сценариях, т.е. используя аналогию с известными решениями.

Экспертная подсистема система поддержки принятия решений является одним из основных приложений искусственного интеллекта и предназначена для решения задач, относящихся конкретной предметной области, знания о которой хранятся в базы знаний.

Основным назначением экспертной подсистемы, как основы система поддержки принятия решений для поиска рациональной стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты объектов информатизации, является ориентация на решение различных задач, на основе ранее описанных в [5] моделей.

Экспертная подсистема обеспечивает выработку и оценку возможных альтернатив стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты объекта информатизации пользователем за счет знаний, которые были получены от специалистов-экспертов.

Экспертная подсистема состоит из: базы знаний, которая предназначена для хранения исходных и промежуточных фактов, накопленных в ходе решения задачи. Также в базы знаний хранятся модели и правила манипулирования моделями. Возможно также проектирование отдельной базы правил, если правил, используемых в процессе решения задачи выбора рациональной стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты объектов информатизации, становится достаточно много;

блока решения задач, связанных с выбором рациональной стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты объекта информатизации. Данный блок будет обеспечивать реализацию последовательности выполнения правил для решения конкретной задачи динамического распределения ресурсов стороны защиты объекта информатизации на основе критериев и правил, хранящейся в базы данных и базы знаний;

подсистемы пояснения, которая позволит лицу, принимающему решение, разобраться в причине такого решения, которое предложено системой поддержки принятия решений;

модуль формирования правил, который предназначен для добавления в базы знаний новых правил и/или их модификаций;

диалогового интерфейса, который призван реализовать удобный диалог пользователя с подсистемой и система поддержки принятия решений в целом.

Последовательность действий функционирования алгоритма, показанного на рис. 4, заключается в следующем.

При получении информации о задачах происходит поиск решения в существующей базе данных. Если аналогичная ситуация встречалась ранее и определены правила принятия решений, то однозначно определяется решение и по данной задаче.

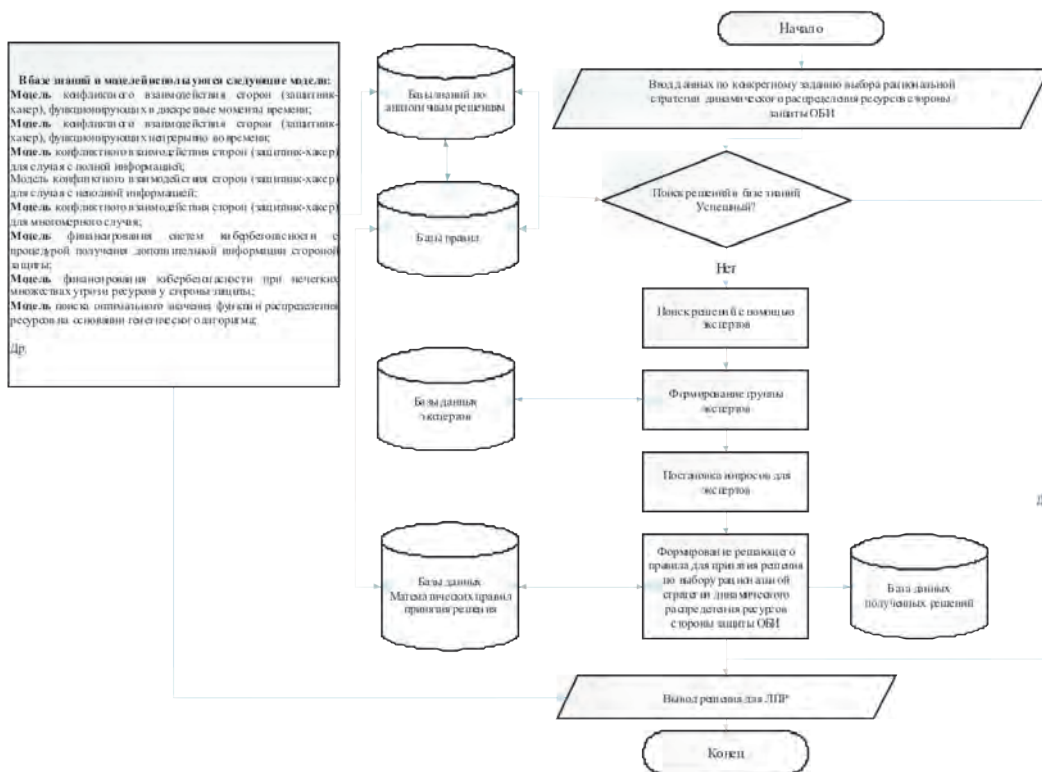


Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма функционирования экспертной подсистемы для проектируемой системы поддержки принятия решений

Если решения для начальной постановки задачи отсутствует, то формируется проблемно-ориентированный экспертная группа. Далее происходит рассылка экспертам вопросов, которые помогут в дальнейшем сформировать новое решающее правило. Эксперты формируют решающее правило для выбора лучшего альтернативного варианта и соответствующей подсистемы системы поддержки принятия решений. На следующем этапе определяется выбор наилучшего решения. В случае соответствия решения исходной постановки задачи правило записывается в базы данных правил, а решение – в базы знаний.

Данный алгоритм функционирования система поддержки принятия решений обеспечивает возможность анализа и нахождения решения для любой задачи, связанной с выбором стратегии динамического распределения ресурсов стороны защиты объектов информатизации.

ЛИТЕРАТУРА

1 Баранова, Е. К. (2015). Методики анализа и оценки рисков информационной безопасности. Образовательные ресурсы и технологии, (1 (9)). С. 73-79.
 2 Грищук, Р. В. (2012). Использование дифференциальных игр для оптимизации управления в системах защиты информации / Грищук Р.В., Хорошко В.А., Хохлачева Ю.Е. Современная защита информации (2), с. 21–26.

3 Lakhno, V., Akhmetov, B., Malyukov, V., Kartbayev, T. S. (2018). Modeling of the decision-making procedure for financing of cyber security means of cloud services by the medium of a bilinear multistep quality game with several terminal surfaces. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 64(4), 467-472.

4 Котенко, И. В., &Новикова, Е. С. (2013). Методики визуального анализа в системах управления информационной безопасностью компьютерных сетей. Вопросы защиты информации, (3), 33-42.

5 Гришук Р.В. Теоретические основы моделирования процессов нападения на информацию методами теории дифференциальных игр и дифференциальных преобразований: Монография / Р.В. Гришук. – Житомир: Рута, 2010. – 280 с.

REFERENCES

1 Baranova, E. K. (2015). Metodiki analiza i ocenki riskov informacionnoj bezopasnosti. *Obrazovatelnye resursy i tehnologii*, (1 (9)). S. 73-79.

2 Grishuk, R. V. (2012). Ispolzovanie differencialnyh igr dlya optimizacii upravleniya v sistemah zashity informacii / Grishuk R.V., Horoshko V.A., Hohlacheva Yu.E. *Sovremennaya zashita informacii* (2), s. 21–26.

3 Lakhno, V., Akhmetov, B., Malyukov, V., Kartbayev, T. S. (2018). Modeling of the decision-making procedure for financing of cyber security means of cloud services by the medium of a bilinear multistep quality game with several terminal surfaces. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 64(4), 467-472.

4 Kotenko, I. V., &Novikova, E. S. (2013). Metodiki vizualnogo analiza v sistemah upravleniya informacionnoj bezopasnostyu kompyuternyh setej. *Voprosy zashity informacii*, (3), 33-42.

5 Grishuk R.V. Teoreticheskie osnovy modelirovaniya processov napadeniya na informaciyu metodami teorii differencialnyh igr i differencialnyh preobrazovanij: Monografiya / R.V. Grishuk. – Zhitomir: Ruta, 2010. – 280 s.

**С. А. АДИЛЖАНОВА¹, Л. Ш. ЧЕРИКБАЕВА¹, М. Ж. САКЫПБЕКОВА¹,
Г. А. ТЮЛЕПБЕРДИНОВА¹, Б. Д. ШАРИПОВА², В. А. ЛАХНО³**

¹әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Алматы технология университеті, Алматы, Қазақстан;

³Биоресурстар және қоршаған ортаны басқару ұлттық университеті,
Киев, Украина

ТҰЖЫРЫМДАМАЛЫҚ ЖОБАЛАУ АҚПАРАТТЫ ҚОРҒАУ ТАРАПЫНЫҢ РЕСУРСТАРЫН АҚПАРАТТАНДЫРУ ОБЪЕКТІЛЕРІНДЕ БӨЛУ МІНДЕТІ ҮШІН ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІ

Мақалада белгілі бір ақпараттандыру объектісі үшін ақпаратты қорғау тарапының ресурстарын бөлу процесінде шешімдер қабылдауды қолдау жүйесі қарастырылады, оны компьютерлік зиянкестер тарапынан ақпараттық ресурстарға деструктивті әсерлердің саны мен күрделілігінің өсуі жағдайында қорғаныс тарапының ресурстарды бөлудің ұтымды стратегиясын іздеу міндеті өзекті болып табылатын барлық мекемелерде немесе кәсіпорындарда кез келген мүдделі тұлғалар пайдалану мақсатында құрылады. Ақпараттандыру объектілерінде қорғаныс тарапының ресурстарын динамикалық бөлудің ұтымды стратегиясын таңдау мыналардың көмегімен жүзеге

асырылады: аналитикалық модельдерді бағдарламалық іске асыру, жүйелердің сараптамалық ішкі жүйелерін қолдану арқылы орындалады; шешім қабылдаушы берген немесе білім базасынан алынған әртүрлі модельдердің жиынтығы арқылы сценарийлерді құру арқылы шешім қабылдауды қолдау жүйесі.

Түйін сөздер: шешімдерді қолдау жүйесі, киберқауіпсіздік, ақпараттандыру объектілері.

**S. ADILZHANOVA¹, L. CHERIKBAYEVA¹, M. SAKYPBEKOVA¹,
G. TYULEPBERDINOVA¹, B. SHARIPOVA², V. LAKHNO³**

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;*

²*Almaty Technological University;*

³*National University of Bioresources and Environmental Management of Ukraine*

CONCEPTUAL DESIGN OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR THE TASK OF INFORMATION PROTECTION RESOURCE ALLOCATION AT INFORMATIZATION OBJECTS

The article considers a decision support system in the process of allocating resources of the information protection side for a specific object of informatization is created for the purpose of its use by any interested persons in all institutions or enterprises for which the task of finding a rational strategy for resource allocation by the protection side is relevant in conditions of increasing number and complexity of destructive impacts on information resources by computer intruders. The choice of a rational strategy for the dynamic allocation of resources on the part of the protection of informatization objects is implemented using: software implementation of analytical models, performed by using expert subsystems of systems; by generating scenarios by combining various models set by the decision maker or taken from the knowledge base of the decision support system.

Key words: decision support system, cybersecurity, informatization objects.

Е. Ж. АЙТХОЖАЕВА*, Д. С. АХМЕТШӘРІПОВ

*Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан*

ТЕХНОЛОГИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ ШИФРОВАНИЯ В PostgreSQL

Обсуждаются криптографические механизмы шифрования в серверной СУБД PostgreSQL с открытым исходным кодом. Анализируются специальные высокоуровневые и низкоуровневые функции симметричного шифрования модуля Pgsuiprto для обеспечения информационной безопасности данных. Выполняется анализ специальных функций сторонней программы GPG, которые позволяют выполнить асимметричное шифрование в сервере баз данных PostgreSQL. Предлагается комбинированная технология шифрования данных в таблицах баз данных, использующая иерархию ключей (асимметричное и симметричное шифрование) с парольной фразой, которая также шифруется для обеспечения лучшей защиты зашифрованных данных. Выполняется апробация данной технологии на примере разработки функции для зашифрования данных, которая запускается триггером при вставке строк в таблицу базы данных, и функции расшифрования данных при чтении зашифрованных данных из таблицы.

Ключевые слова: сервер баз данных PostgreSQL, функции шифрования и расшифрования.

Введение. Большинство данных, в том числе персональных и других конфиденциальных данных, хранится в серверах баз данных (БД). Исходя из этого, в целях обеспечения информационной безопасности данных, хранящихся в сервере БД, необходимо использовать криптографические механизмы шифрования, которые являются эффективным средством обеспечения информационной безопасности. Разработчики серверов БД заложили в свои продукты разные возможности в плане шифрования данных. Ниже обсуждаются возможности использования шифрования в сервере БД PostgreSQL, который в последнее время все больше привлекает внимание разработчиков различного масштаба в качестве базового ПО для своих продуктов. PostgreSQL является объектно-реляционной системой управления базами данных (ORDBMS), наиболее развитой из открытых СУБД в мире. Имеет открытый исходный код и является альтернативой коммерческим серверам БД [1,2,3].

Нужно заметить, что сам подход в реализации шифрования симметричными и асимметричными ключами в PostgreSQL отличается от других серверных СУБД, так как в PostgreSQL отсутствует хранилище мастер-ключа, создание и использование созданных симметричных ключей шифрования осуществляется в едином процессе. Это справедливо и относительно асимметричных ключей шифрования. Всё это создает определенные трудности при выполнении шифрования данных и требует разработки другой технологии использования функций шифрования по сравнению с технологией, применяемой в серверах БД Oracle и MS SQL Sever, где создание и использование ключей шифрования представляют собой разные процессы [4,5,6]. Следует заметить, что использование криптографических методов в серверах БД является экспертной областью.

* E-mail корреспондирующего автора: akdauren4@gmail.com

В PostgreSQL предусмотрено использование симметричных как блочных алгоритмов шифрования с ключами разной длины (DES, 3DES, 3DES с тремя ключами, DESX, AES), так и потоковых алгоритмов шифрования (RC2, RC4), а также асимметричного алгоритма RSA с ключами разной длины. Тем не менее, из предлагаемых алгоритмов симметричного шифрования рекомендуется использовать более криптостойкий алгоритм AES с длиной ключа 256 бит, а из асимметричного шифрования рекомендуется использовать алгоритм RSA с длиной ключа 4096 бит.

Методы и результаты. Предметом исследования являются методы и существующие механизмы обеспечения криптографической безопасности данных в сервере БД PostgreSQL.

На сегодняшний день PostgreSQL является одной из самых популярных и доступных серверных СУБД с открытым исходным кодом, что по сравнению с другими серверами БД, дает возможность подстроить систему под свои нужды и требования. Безусловно, данное преимущество является плюсом, но и минусом одновременно, так как не имеет постоянной техподдержки, обновлении и модификации. Но нужно учитывать, что данный минус компенсируется за счет Community решений. Также нужно учесть, что PostgreSQL не проигрывает в плане производительности, безопасности, масштабируемости и стоимости, таким востребованным коммерческим серверам БД, как Oracle и MS SQL Sever.

Для реализации криптографических механизмов шифрования в PostgreSQL используются функции шифрования PGP криптографического модуля Pgcrypto, которые реализуют часть шифрования стандарта OpenPGP (RFC 4880) [7, 8]. Для корректной работы Pgcrypto требуется криптографическая библиотека с открытым исходным кодом OpenSSL.

Поддерживается шифрование симметричными и асимметричными ключами. Шифрование симметричным ключом реализуется на основе высокоуровневой функции шифрования Pgp_sym_encrypt (), которая принимает на вход шифруемые данные, метод шифрования и парольную фразу, на основе которой генерируется симметричный ключ для шифрования данных. Дешифрование осуществляется с помощью высокоуровневой функции Pgp_sym_decrypt () аналогично, так же на основе парольной фразы.

Помимо высокоуровневых функций шифрования, PGP дает возможность использования низкоуровневых функций шифрования, таких как encrypt () и decrypt (). Но эти функции не работают с текстовыми данными. Шифрование и дешифрование осуществляется также на основе парольной фразы. Данные функции поддерживают: алгоритмы шифрования AES длиной ключа 128, 192, 256 бит и Blowfish; режимы cbc (шифрование следующего блока зависит от предыдущего (по умолчанию)) и ecb (каждый блок шифруется отдельно (только для тестирования)) и параметры допустимого дозаполнения pkcs (данные могут быть любой длины (по умолчанию) и попе (размер данных должен быть кратен размеру блока шифра) [7,8].

Для реализации асимметричного шифрования используется сторонняя программа GPG (также известная как GnuPG), которая позволяет сгенерировать публичные и приватные ключи. Шифрование реализуется на основе функции pgp_pub_encrypt (), которая шифрует данные публичным ключом и функции pgp_pub_decrypt (), которая дешифрует их приватным ключом. При этом используется парольная фраза.

Перечисленные механизмы шифрования можно применять на различных уровнях организации данных. Можно шифровать базу данных целиком, отдельные таблицы

(сущности) или же применять шифрование к отдельным столбцам (атрибутам). Применяемая обычно при этом одноуровневая или двухуровневая иерархия ключей шифрования не сможет обеспечить высокую надежность защиты от дешифрования данных.

Ниже предлагается комбинированная технология многоуровневого использования специальных функций шифрования модуля PGP и программы GPG в сервере баз данных PostgreSQL для шифрования столбцов таблицы (атрибутов сущности) при вставке новых строк в таблицу базы данных. При этом используется иерархия ключей (асимметричное и симметричное шифрование) с парольной фразой, которая также шифруется для обеспечения лучшей защиты зашифрованных данных.

Предлагается следующая технология зашифрования:

– программой GPG генерируются публичный и приватный ключи. В качестве алгоритма шифрования выбирается алгоритм RSA длиной ключа 4096 и указывается его срок годности (рисунок 1, указан срок годности 100 дней). При генерации ключей приватный ключ для большей безопасности и конфиденциальности шифруется задаваемой парольной фразой, которая передается в качестве параметра по запросу системы (рисунок 2, задана парольная фраза dauren4157@,);

```

bob@bob-IdeaPad-Gaming-3-15IMH05: $ gpg --full-generate-key
gpg (GnuPG) 2.2.27; Copyright (C) 2021 Free Software Foundation, Inc.
This is free software: you are free to change and redistribute it.
There is NO WARRANTY, to the extent permitted by law.

Выберите тип ключа:
  (1) RSA и RSA (по умолчанию)
  (2) DSA и ElGamal
  (3) DSA (только для подписи)
  (4) RSA (только для подписи)
  (14) Имейщийся на карте ключ
Ваш выбор? 1
длина ключей RSA может быть от 1024 до 4096.
Какой размер ключа Вам необходим? (3072) 4096
Запрошенный размер ключа - 4096 бит
Выберите срок действия ключа.
  0 = не ограничен
  <n> = срок действия ключа - n дней
  <n>w = срок действия ключа - n недель
  <n>M = срок действия ключа - n месяцев
  <n>y = срок действия ключа - n лет
Срок действия ключа? (0) 100
Ключ действителен до Ср 17 Май 2023 18:58:32 +06
Все верно? (y/N) y

GnuPG должен составить идентификатор пользователя для идентификации ключа.

Ваше полное имя: dauren
Адрес электронной почты: my.email@mail
Примечание:
Вы выбрали следующий идентификатор пользователя:
  "dauren <my.email@mail>"

Сменить (N)Имя, (C)Примечание, (E)Адрес; (O)Принять/(Q)Выход? o
Необходимо получить много случайных чисел. Желательно, чтобы Вы
в процессе генерации выполняли какие-то другие действия (печать
на клавиатуре, движения мыши, обращения к дискам); это даст генератору
случайных чисел больше возможностей получить достаточное количество энтропии.
Необходимо получить много случайных чисел. Желательно, чтобы Вы
в процессе генерации выполняли какие-то другие действия (печать
на клавиатуре, движения мыши, обращения к дискам); это даст генератору
случайных чисел больше возможностей получить достаточное количество энтропии.
gpg: ключ 5B41FCC85589D057 помечен как абсолютно доверенный
gpg: создан каталог '/home/bob/.gnupg/openpgp-revocs.d'
gpg: сертификат отзыва записан в '/home/bob/.gnupg/openpgp-revocs.d/CAEA51F6A8CEDDA07B895055B41FCC85
589D057.rev'.
открытый и секретный ключи созданы и подписаны.

pub  rsa4096 2023-02-06 [SC] [годен до: 2023-05-17]
     CAEA51F6A8CEDDA07B895055B41FCC85589D057
uid          dauren <my.email@mail>
sub  rsa4096 2023-02-06 [E] [годен до: 2023-05-17]

bob@bob-IdeaPad-Gaming-3-15IMH05: $

```

Рисунок 1 – Генерация асимметричного ключа программой GPG

– далее, для создания симметричного ключа шифрования, необходимо сгенерировать псевдослучайную парольную фразу;

– на основе сгенерированной псевдослучайной парольной фразы создается симметричный ключ, который шифрует текст с использованием высокоуровневой функции `pgp_sym_encrypt()` имеющей такие параметры, как идентификатор шифруемого текста, парольная фраза, алгоритм шифрования;

– созданным ранее публичным ключом асимметричного шифрования шифруется использованная парольная фраза;

– полученное значение зашифрованной парольной фразы, повторно шифруется низкоуровневой функцией шифрования `encrypt()`, и записывается в заранее созданную таблицу `master_symkey` с указанием даты, времени записи и идентификатора.

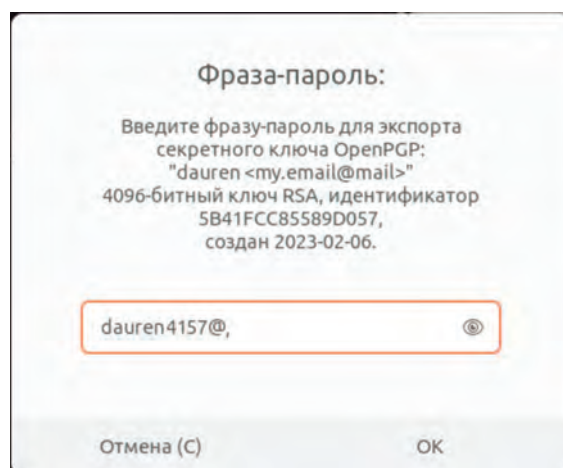


Рисунок 2 – Задание парольной фразы для асимметричного ключа

Для расшифрования данных необходимо выполнить следующие шаги:

необходимо расшифровать парольную фразу из таблицы `master_symkey`:

- а) симметричным ключом низкоуровневой функции расшифрования `decrypt()`;
- б) приватным ключом высокоуровневой функции `pgp_pub_decrypt()`, который перед этим расшифровывается;

– расшифрованную парольную фразу передать в функцию `pgp_sym_decrypt()` для расшифровки данных.

Сформулированные выше положения были апробированы на примере для зашифрования и расшифрования данных в таблице `customers` базы данных `Delivery` сервера `PostgreSQL`. Был использован язык `plpgsql`. Для шифрования данных была спроектирована и реализована функция зашифрования `encryption`. В функции `encryption` используется описанная выше технология зашифрования с парольной фразой “`dauren4157@`”. Команда `Update`, при замене незашифрованного текста на зашифрованный, использует функцию `pgp_sym_encrypt()` для получения зашифрованных данных. При записи в таблицу `master_symkey` зашифрованной парольной фразы в качестве идентификатора используется ID покупателя. Созданная функция `encryption` запускается триггером `encryption_trigger` типа `After` при выполнении инструкции `Insert`, то есть вставки данных в таблицу (рисунок 3).

```
1 create or replace function encryption() returns trigger as $$
2 DECLARE
3     passphrase text;
4     pub_enckeyvalues bytea;
5     public_key text:='-----BEGIN PGP PUBLIC KEY BLOCK-----
6
7     mQNBGPjedw0ADepg46R8N04FG+apsNS+64s9d4ds7bcFfcEve0j74E9Q6NNAyE
8     8AprTbBHnTnk/C28yxfjHkTf/FqYyDq5ytjXzhhr+TQldgn7Zwh+xcZ2Hus
9     9+1uFFPsofB4g522bUP50dusQ2v30g33m2mQWen1H4CSE92yhkfzNEBQ2yid
10    ws1F45Yt01F9q6VHMLDadwD3YxfEPhQ7l2on475utShouFms3YRkn5kog8ry0
11    sBy20uFhe3SNz1x50H/emRkNvABhvg+gYACPrF4uHFLoXtCNH9esMwIGdyOKCtP
12    D900C8RUC+60K5y1wprCT70t0V+frpe1FpVV///5jw/Zlg9TqTKkV3cghL29LB
13    -----END PGP PUBLIC KEY BLOCK-----';
14 BEGIN
15 IF TG_OP = 'INSERT' THEN
16 -- #Генерация парольной фразы длиной 256 символов
17 select gen_key() into passphrase;
18 --#Вводятся вставляемые данные в таблицу
19 Update customers set last_name=pgp_sym_encrypt(new.last_name, passphrase, 'compress-algo:1, cipher-algo:aes256') where last_name=new.last_name;
20 Update customers set first_name=pgp_sym_encrypt(new.first_name, passphrase, 'compress-algo:1, cipher-algo:aes256') where first_name=new.first_name;
21 Update customers set address=pgp_sym_encrypt(new.address, passphrase, 'compress-algo:1, cipher-algo:aes256') where address=new.address;
22 Update customers set phone_number=pgp_sym_encrypt(new.phone_number, passphrase, 'compress-algo:1, cipher-algo:aes256') where phone_number=new.phone_number;
23 -- #Формирование парольной фразы публичным ключом
24 select pgp_pub_encrypt(passphrase, dearmor(public_key)) into pub_enckeyvalues;
25 --#Формирование и вставка в таблицу мастер ключа для симметричного ключа зашифрованной парольной фразы
26 insert into master_symkey (skey_id,key_values,generate.date)
27 values (new.customer_id,encrypt(pub_enckeyvalues,'Pass:::bytea','aes'),now()::timestamptz);
28 END IF;
29 RETURN NULL;
30 END;
31
32
33
34
35
36
37
38
39 CREATE TRIGGER encryption_trigger
40 AFTER INSERT ON customers
41 FOR EACH ROW EXECUTE FUNCTION encryption();
42
```

Рисунок 3 – Скрипт реализации функции encryption и триггера для зашифрования

На рисунке 4 показана инструкция Insert (выполняется вставка данных в таблицу customers базы данных Delivery – четыре записи), которая запускает триггер encryption_trigger, чтобы зашифровать вставляемые данные. Шифруются все данные, кроме параметра ID покупателя, который является идентификатором и необходим для идентификации как записи, так и соответствующей этой записи зашифрованной парольной фразы в таблице master_symkey. На рисунке 4 также видны этапы процесса шифрования в виде последовательности использования ключей.

На рисунке 5 показан результат работы функции encryption: в таблицу customers записались четыре зашифрованные записи (строчки таблицы), идентификатором для каждой записи является незашифрованный ID покупателя.



Рисунок 4 – Запуск триггера encryption_trigger для зашифрования данных

customer_id	last_name	address	phone_number
1	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...
2	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...
3	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...
4	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...	UC3084899302346ed8c3bcac09f66d244914e93674a...

Рисунок 5 – Результат работы функции encryption и триггера для зашифрования

Для расшифрования зашифрованных данных была реализована функция decryption, которая принимает в качестве параметра ID покупателя, по которому выполняется обратный процесс расшифрования. Процесс расшифрования данных состоит из двух этапов.

На первом этапе, при котором расшифровывается парольная фраза, используется запрос Select с вложенным внутренним запросом Select, так как парольная фраза была зашифрована сначала публичным ключом, потом симметричным ключом. Основной запрос Select использует функцию pgg_pub_decrypt () и записывает результаты данного запроса в переменную priv_deckeyvalues. Функция pgg_pub_decrypt () в качестве первого параметра принимает результат вложенного запроса Select; в качестве второго параметра принимает приватный ключ; в качестве третьего параметра парольную фразу к приватному ключу (dauren4157@.). Вложенный запрос Select выполняет низкоуровневую функцию дешифрования decrypt (), которая в качестве первого параметра принимает запись столбца key_values из таблицы master_symkey (зашифрованную симметричным ключом парольную фразу), идентифицируемую по ID покупателя; в качестве второго параметра принимает парольную фразу для симметричного ключа (pass), которым будет проводиться расшифровка зашифрованной парольной фразы; в качестве третьего параметра принимает алгоритм расшифрования (aes).

На втором этапе, выполняется запрос Select, который использует функцию расшифрования pgg_sym_decrypt() и возвращает таблицу с расшифрованными данными (рисунок 6). Функция pgg_sym_decrypt () в качестве первого параметра принимает

```

1 CREATE OR REPLACE FUNCTION public.decryptfunc
2   (
3     a Integer
4   )
5   RETURNS TABLE(id Integer, ln text, f_n text, addr text, ph_n text)
6   LANGUAGE 'plpgsql'
7   COST 100
8   VOLATILE PARALLEL UNSAFE
9   ROWS 1000
10
11 AS $$
12 DECLARE
13   priv_deckeyvalues text;
14   privat_key text;
15 BEGIN
16   SELECT pgg_pub_decrypt(
17     (SELECT key_values FROM master_symkey WHERE customer_id = a),
18     (SELECT priv_key FROM master_symkey WHERE customer_id = a),
19     (SELECT pass FROM master_symkey WHERE customer_id = a),
20     'aes'
21   ) INTO priv_deckeyvalues;
22   SELECT priv_key FROM master_symkey WHERE customer_id = a INTO privat_key;
23   RETURN TABLE(
24     a,
25     (SELECT last_name FROM customers WHERE customer_id = a),
26     (SELECT address FROM customers WHERE customer_id = a),
27     (SELECT phone_number FROM customers WHERE customer_id = a)
28   );
29 END;
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40

```

Рисунок 6 – Скрипт реализации функции расшифрования decryption

зашифрованные данные или записи столбцов из таблицы customers (last_name, first_name и т.д), идентифицируемые по ID покупателя; в качестве второго параметра принимает значения переменной priv_deckeyvalues.

На рисунке 7 показан результат работы функции decryption при выборке из таблицы записи с ID покупателя равным 1.

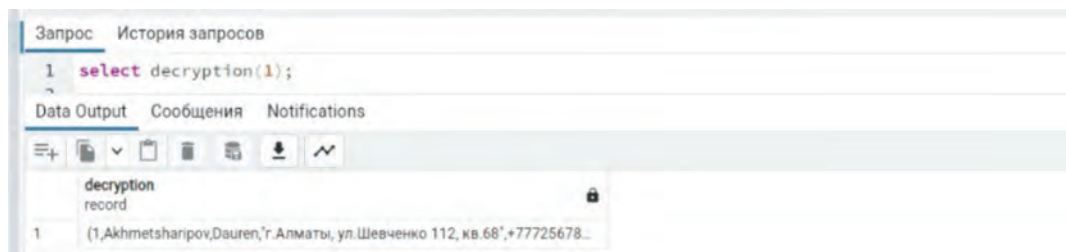


Рисунок 7 – Результат работы функции расшифровывания decryption

Заключение. Анализ функций зашифрования и расшифрования криптографического модуля Pgcrypto в PostgreSQL и программы GPG и апробированная предложенная технология их использования позволяет сделать вывод о хорошей функциональности PostgreSQL в области шифрования данных. Кроме представленных выше возможностей, в PostgreSQL имеются стандартные функции хеширования и специальные функции хеширования паролей, можно зашифровать пароли учетных записей (пароли пользователей хранятся в виде хешей), шифровать канал передачи данных между сервером и клиентом. Присутствует несколько методов аутентификации, управление правами доступа как на уровне строк, так и на уровне столбцов, функции получения случайных данных. До недавнего времени в PostgreSQL не было встроенного прозрачного шифрования (Transparent Data Encryption - TDE), которое используется в Oracle и MS SQL Sever. Но в 2023 году компания EnterpriseDB реализовала TDE для PostgreSQL [9]. В настоящее время PostgreSQL можно рекомендовать использовать для работы с конфиденциальными данными, наряду с востребованными коммерческими серверами БД, такими как Oracle и MS SQL Sever.

Шифрование позволяет скрыть исходные данные и является признанным методом обеспечения защиты данных. Но следует учитывать, что процессы шифрования и расшифрования требуют ресурсов и поэтому негативно влияют на производительность системы. Применение шифрования требует определения критичности данных и решения, какие данные требуют шифрования.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Рогов Е. В. PostgreSQL 15 изнутри [Текст]. - Москва: ДМК Пресс, 2023. - 662 с.
- 2 Schonig H. Mastering PostgreSQL 13: Build, administer, and maintain database applications efficiently with PostgreSQL 13, 4th Edition 4th ed. Edition [Текст]. – Birmingham-Mumbai: Packt Publishing, 2020.- p.476.
- 3 PostgreSQL [Электронный ресурс] / The PostgreSQL Global Development Group. – Режим доступа: <http://www.PostgreSQL.org>, свободный. – Загл. с экрана.
- 4 Oracle Database Advanced Security Guide, 21c [Электронный ресурс] / Oracle. – Режим доступа: <https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/21/asoag/advanced-security-guide.pdf>

5 Документация по SQL. Шифрование SQL Server. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/relational-databases/security/encryption/sql-server-encryption?view=sql-server-ver15>, свободный. -Загл. с экрана.

6 Ахметшәріпов Д.С., Айтхожаева Е.Ж. Сравнительный анализ криптографических механизмов в серверах баз данных [Текст] / Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Фундаментальные научные исследования: теоретические и практические аспекты». – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2023 – с.41-44. Электронная версия на сайте https://sibscience-new.ru/images/doc_temp/2023/Sbornik_28_02_23.pdf.

7 Pgcrypto [Электронный ресурс] / The PostgreSQL Global Development Group. – Режим доступа: <https://www.PostgreSQL.org/docs/current/pgcrypto.html>, свободный. – Загл. с экрана.

8 Шифрование данных в PostgreSQL [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://hardyantz.medium.com/data-encryption-in-PostgreSQL-a4b51a60dfc2>, свободный. – Загл. с экрана.

9 EnterpriseDB Postgres Plus Advanced Server [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://complit.kz/p37468357-enterprisedb-postgres-plus.html>, свободный. -Загл. с экрана.

REFERENCES

- 1 Rogov, E.V. (2023). PostgreSQL 15 from the inside. Moscow: DMK Press. - 662 p.
- 2 Schonig, H.-J. (2020). Mastering PostgreSQL 13: Build, administer, and maintain database applications efficiently with PostgreSQL 13. 4th Edition 4th ed. Edition. Packt Publishing.
- 3 PostgreSQL (n.d.) The PostgreSQL Global Development Group. <http://www.PostgreSQL.org>.
- 4 Oracle. (2023). Oracle Database Advanced Security Guide, 21c. Oracle. <https://docs.oracle.com/en/database/oracle/oracle-database/21/asoag/advanced-security-guide.pdf>
- 5 Microsoft (n.d.). SQL Server Encryption. <https://docs.microsoft.com/ru-ru/sql/relational-databases/security/encryption/sql-server-encryption?view=sql-server-ver15>
- 6 Akhmetsharipov, D.S., Aitkhozhayeva, Y.Zh. (2023). Comparative analysis of cryptographic mechanisms in database servers // Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference Fundamental scientific research: theoretical and practical aspects. – Kemerovo: ZAPSIBNTS, 2023 – pp.41-44. https://sibscience-new.ru/images/doc_temp/2023/Sbornik_28_02_23.pdf.
- 7 Pgcrypto. (n.d.). The PostgreSQL Global Development Group. <https://www.PostgreSQL.org/docs/current/pgcrypto.html>.
- 8 Data encryptions in PostgreSQL. (n.d.). <https://hardyantz.medium.com/data-encryption-in-PostgreSQL-a4b51a60dfc2>,
- 9 EnterpriseDB Postgres Plus Advanced Server. (2023). <https://complit.kz/p37468357-enterprisedb-postgres-plus.html>.

Е. Ж. АЙТХОЖАЕВА, Д. С. АХМЕТШӘРІПОВ

*Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,
Алматы, Қазақстан*

POSTGRESQL-ДЕ АРНАЙЫ ШИФРЛАУ ФУНКЦИЯЛАРЫН ҚОЛДАНУ ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Ашық бастанқы кодты PostgreSQL серверлік ДҚБЖ-да криптографиялық шифрлау механизмдері талқыланады. Деректердің ақпараттық қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін

Pgcrypto модулінің арнайы жоғарғы және төменгі деңгейлі симметриялы шифрлау функциялары талданады. PostgreSQL дерекқор серверінде асимметриялық шифрлауға мүмкіндік беретін үшінші тарап GPG бағдарламасының арнайы функцияларына талдау жасалады. Мәліметтер базасының кестелерінде кілттердің иерархиясын (асимметриялық және симметриялық шифрлау) қолдана отырып, шифрланған деректерді жақсы қорғауды қамтамасыз ету үшін шифрланған құпия сөз тіркесімен бірге деректерді шифрлаудың біріктірілген технологиясы ұсынылады. Деректер базасының кестесіне жолдар салынған кезде триггермен іске қосылатын деректерді шифрлау функциясын және кестеден шифрланған деректерді оқу кезінде деректерді дешифрлау функциясын әзірлеу мысалында осы технологияны сынақтан өткізу жүзеге асырылады.

Түйін сөздер: PostgreSQL дерекқор сервері, шифрлау және дешифрлау функциялары.

Y. ZH. AITKHOZHAYEVA, D. S. AKHMETSHARIPOV

*Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev,
Almaty, Kazakhstan*

TECHNOLOGY FOR USING SPECIAL ENCRYPTION FUNCTIONS IN POSTGRESQL

Cryptographic encryption mechanisms in the open source PostgreSQL server DBMS are discussed. Special high-level and low-level functions of symmetric encryption of the Pgcrypto module for ensuring information security of data are analyzed. The analysis of special functions of the third-party GPG program is performed, which allow performing asymmetric encryption in the PostgreSQL database server. A combined data encryption technology in database tables is proposed, using a hierarchy of keys (asymmetric and symmetric encryption) with a passphrase, which is also encrypted to ensure better protection of encrypted data. This technology is being tested on the example of developing a function for encrypting data, which is triggered by a trigger when inserting rows into a database table, and a data decryption function when reading encrypted data from a table.

Key words: PostgreSQL database server, encryption and decryption functions.

**ZH. M. ALIMZHANOVA, N. J. TOIBEK*, A. K. ALI, N.M. NIYAZBEK,
D. R. ASHIMZHANOVA, M. A. DUISENOVA**

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

ANALYSIS OF MULTI-FACTOR AUTHENTICATION SOLUTIONS

This article analyzes open-source multi-factor authentication (MFA) solutions. Research on adapting the MFA solution is given, this research will help businesses to provide security in the implementation of remote work. This article discusses 5 open-source MFA solutions, functionality, advantages and disadvantages. For Small and Medium-sized Businesses (SMBs), using a multi-factor authentication (MFA) solution is an important element of security. MFA is an authentication method that requires several forms of authentication before a user can access a system or application. For SMBs, using MFA helps protect their business from cyberattacks, including phishing, network traffic interception and password cracking. In addition, the use of MFA helps to comply with regulations such as GDPR and HIPAA, which require companies to ensure data security.

In general, the use of MFA helps to protect important information and reduce the risks of security breaches, which can lead to financial losses, reputational problems and loss of customer confidence.

Key words: *MFA, 2FA, LDAP, AAA, RADIUS, authentication system authorization and event accounting, multi-factor authentication, open source solution.*

Introduction. This article focuses on the top 5 open-source MFA solutions. Technology is changing rapidly, so we will need to adapt open-source MFA solutions. Multi-factor authentication (MFA) is a method and technology that will be used to verify the identity of the user. At least two or more types of credential categories are required for users to be able to log in or perform a transaction. A successful combination of at least two independent accounting data is a requirement of the MFA method. It usually combines one of the following three categories of credentials:

What the user knows: the password or the passphrase?

What a person has: a security badge, a key fob or a SIM card?

What the user is: biometric data such as fingerprints, retina or iris, voice or facial recognition?

MFA requires a user to provide two or more verification factors in order to access a resource, such as an application or an online account. MFA requires one or more additional verification criteria in addition to username and password, which reduces the likelihood of a successful cyberattack. Publicly available code is considered “open source”. In addition, open-source tools and solutions are more secure because the code can be checked and verified by anyone.

Experimental. Gluu Casa. Gluu Casa is an open-source, self-service multifactor authentication to enhance your digital identity. It’s revolutionary. Casa provides a single control point for end users to view, log and delete MFA credentials. It also comes with hardware tokens, software tokens, commercial services (such as Duo), social media login, biometrics and mobile devices. It is also expandable. When any new authentication technologies be-

* E-mail корреспондирующего автора: nurtas.toibek@gmail.com

come available, you can download plugins to use in your organization with Casa [1].

Gluu Casa provides advanced multifactor authentication, such as adaptive authentication, location-based authentication, and trusted browser.

Benefits of Gluu Casa:

1. Deploying cloud technology

2. Casa is the right choice for you if you like Kubernetes or services like Amazon EKS, Google GKS or SUSE Rancher. Casa supports cloud deployments using standard tools such as Helm. It also supports several server databases, including LDAP, Couchbase, RDBMS, Amazon Aurora and Google Spanner.

3. Apply strong authentication

4. Only the right person on the right device can have access to the apps. By locking your front door, you can increase the security of your business. Casa offers the OpenID Connect API as an interface, as well as the standard JWT «id_token». It can also be used to enforce policy.

5. No more password resets

6. Even without contacting customer support or compromising account security, users can seamlessly register, manage, and delete passwordless credentials on all their devices. The organization's MFA is as reliable as the weakest working account recovery process!

Ory. Ory is the largest open-source MFA solution community in the world of cloud software application security. It will manage and authenticate users, set, and check permissions, protect your APIs, applications, data, and more. It has an ecosystem of services with clear boundaries that address authentication and authorization issues.

Advantages of Ory:

1. Solid protection

2. Ory offers strong protection against hacking attempts, such as keyloggers and brute force attacks. If an attacker manages to compromise credentials, this information will not be enough to gain access to the account.

3. Convenient user management

4. It provides seamless user management by providing identifiers, storing user information, customizing authentication methods, and using a headless API.

5. Fully flexible

6. It is flexible enough in terms of authentication, authorization, access control and delegation to meet the changing needs of your business [2].

ForgeRock. ForgeRock is an open-source identity solution provider that offers MFA capabilities. It is a digital identity platform designed for any cloud environment that gives users the freedom to perform identification and access activities themselves. This solution improves user interaction and productivity while delivering results without compromising cybersecurity threats. This solution can reduce organizational costs by providing the right level of access to all systems and users at the right time, allowing users to control their profile, password and privacy settings.

Benefits of ForgeRock:

1. Implementation of a wide range of authentication measures

2. Various authentication measures, such as secure multi-factor authentication (MFA) or two-factor authentication (2FA) methods, are implemented by ForgeRock Access Management.

Solutions range from simple, password-free options to social media login, to the most secure biometrics and NIST 800-63 assurance level requirements.

3. One platform, any cloud

4. ForgeRock offers a variety of flexible options, such as on-premises, cloud or hybrid deployments. It also provides a variety of DevOps tools so that developers don't have to spend the effort of creating their own tools to move configurations between environments [3].

5. API Security to protect against malicious activity.

6. Cybercriminals are also targeting unsecured APIs. Its Identity Gateway is used to monitor API traffic, limit traffic volume, and detect anomalies to keep services running and protect against hacks and distributed denial of service (DDoS) attacks.

PrivacyIDEA. PrivacyIDEA is an open-source solution that provides a wide range of different authentication technologies, including MFA. It comes with a powerful and flexible policy structure that allows you to tailor PrivacyIDEA to your needs. Unique event handler modules allow you to build PrivacyIDEA into existing workflows or create new workflows that best fit your scenario. It also works well with others and integrates with identity and authentication solutions such as FreeRADIUS, simpleSAML, Keycloak or Shibboleth. This flexibility may be the reason why organizations such as the World Wide Web Consortium and companies such as Axiad use PrivacyIDEA [4].

Benefits of PrivacyIDEA:

1. Cloud Protection

2. PrivacyIDEA offers various flexible options, such as on-premises, cloud, or hybrid deployment. It protects your organization's data by preventing the wrong users from accessing it. Only the right person can provide access to the right device.

3. Accelerate the payback time

4. PrivacyIDEA supports several geographic regions around the world. Increase speed and simplify your organization's response to global service needs with automated deployment. This will reduce the complexities associated with geographic compliance. To achieve performance and operational goals for development, testing, or production, you can customize, and scale deployments as needed. It even has regional configuration options to help you comply with geographic or regulatory restrictions.

5. Ease of use and operation [5]

6. PrivacyIDEA realizes that the initial purchase costs are only part of the total cost of implementing the solution. So, they designed the deployment architecture for scalability and ease of maintenance. Upgrades shouldn't stop you in your tracks and require operating budgets far more than your initial investment. No questions should arise, technical specialists are always available and guarantee a timely response.

Authentik. Authentik is an open-source identity solution provider that offers MFA capabilities. Particular attention is paid to flexibility and versatility. Even in an existing environment, you can use authentik to add support for new protocols, implement logging/recovery, etc. in your application to avoid problems with it and more.

It has some useful features, such as a proxy you can use in a cluster to add authentication to services, or things like monitoring panels without a password (Longhorn, etc.) [6].

Benefits of Authentik:

1. Suitable for changing business needs
2. Authentik is highly flexible, which means you can easily adapt to the changing needs of your business. It can be configured for all users, including employees, customers, and partners. This eliminates the need for multiple passwords, simplifies the login process and improves user interaction.
3. Enhances security – Authentic's open-source multifactor authentication is the most effective security tool for protecting local and public cloud data.
4. Easy to use – Authentic has simplified the authentication process by providing easy access control [7].

Result and discussion. After a brief review, let's delve into the architecture of one of them, more specifically about PrivacyIDEA.

PrivacyIDEA is a system used to manage devices for two-factor authentication. Using PrivacyIDEA, you can enhance your existing applications, such as local login, VPN, remote access, SSH connections, access to websites or web portals, with a second factor during authentication. This increases the security of your existing applications. Originally OTP tokens, but other means of authentication such as SSH keys have been added. Other concepts emerge, such as machine processing or certificate registration. PrivacyIDEA is a web application written in Python based on the flask micro framework. You can use any wsgi web server to run PrivacyIDEA. For example, it could be Apache, Nginx or even werkzeug. The device or item used for authentication is still called a "token. All information about tokens is stored in an SQL database, and you can choose which database you want to use. PrivacyIDEA uses SQLAlchemy to map the database to internal objects. So, you can choose to run PrivacyIDEA with SQLite, MySQL, PostgreSQL, Oracle, DB2 or another database [8].

PrivacyIDEA provides a clean REST API. Administrators can use the web interface or the command line client to manage the authentication devices. Users can log into the web interface to manage their own tokens. Authentication is done through API or certain plugins for FreeRADIUS, SimpleSAMLphp, Wordpress, Contao, Dokuwiki ... either provide default protocols such as RADIUS or SAML or integrate directly into applications. Because of this flexibility, there are also many ways to install and configure PrivacyIDEA.

As already mentioned PrivacyIDEA can be integrated with a Directory Domain, using the LDAP protocol, so it can add users directly from AD(Active Directory). Figure 1 shows an example of adding an LDAP Resolver. LDAP is used here, but you can also use a secure version of LDAPS. Then you have to import the certificates. Here you need a user account with read privilege for domain users. At the bottom you can select an entire domain or filter them by group.

Figure 1 shows all the available authentication methods, and here we usually use TOTP and HOTP methods in production. The most used method is TOTP, which calculates OTP (One Time Password) based on time. And it changes by default every 60 seconds. This method is now considered relatively safe.

PrivacyIDEA has a module FreeRADIUS, and with it he can integrate different network devices and NAD (Network Access Device). Figure 2 shows adding the RADIUS client to FreeRADIUS. Only after adding PrivacyIDEA will work with it, it's like adding to trusted devices.

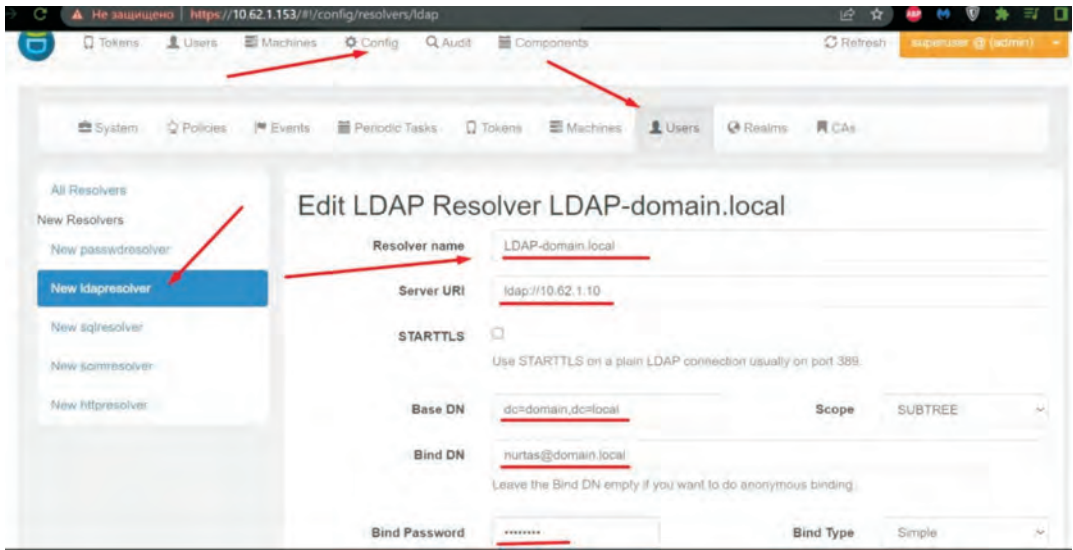


Figure 1 – Adding remote users

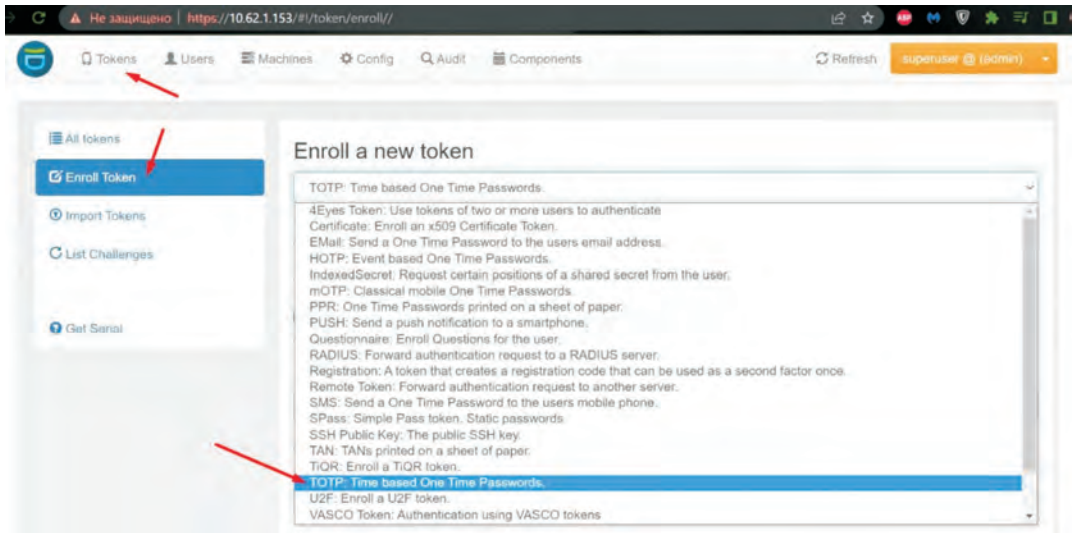


Figure 2 – Available methods in PrivacyIDEA

As an example of a RADIUS client, we took the next generation firewall (NGFW) FortiGate, and Figure 3 shows adding the RADIUS server FreeRADIUS to the FortiGate. FortiGate can further use this RADIUS server in the Remote Access VPN settings or in policies, etc.

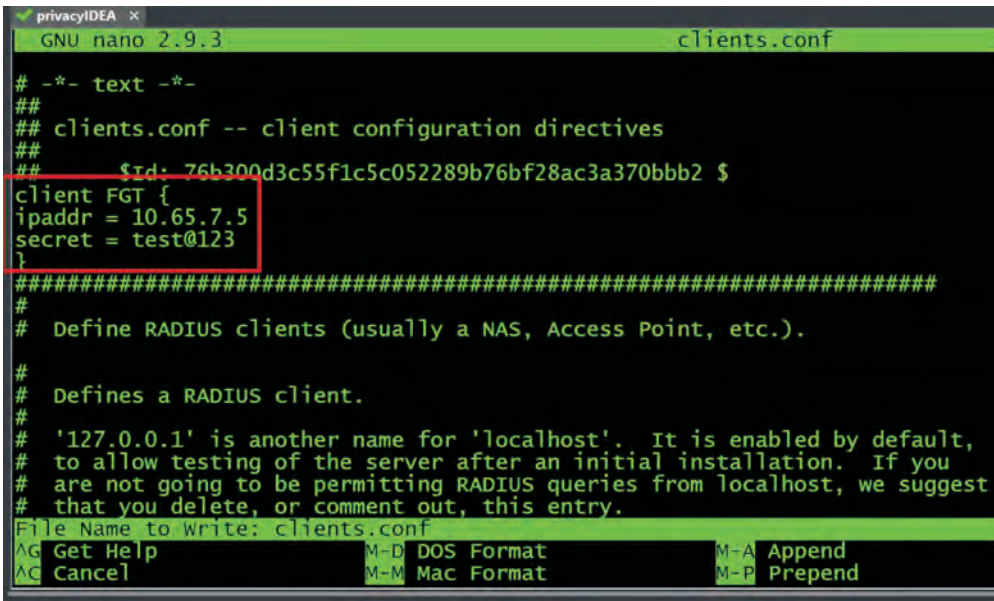


Figure 3 – Adding a RADIUS client

After adding a RADIUS server, you can use various built-in utilities to test the connection between the RADIUS server and the client. In Figure 4 you can see that the connection status is set, but in the bottom field shows incorrect credentials. It shows this way because after the first authentication login and password, our RADIUS server asks for a second factor for this user, because multifactor authentication is already configured for this user.

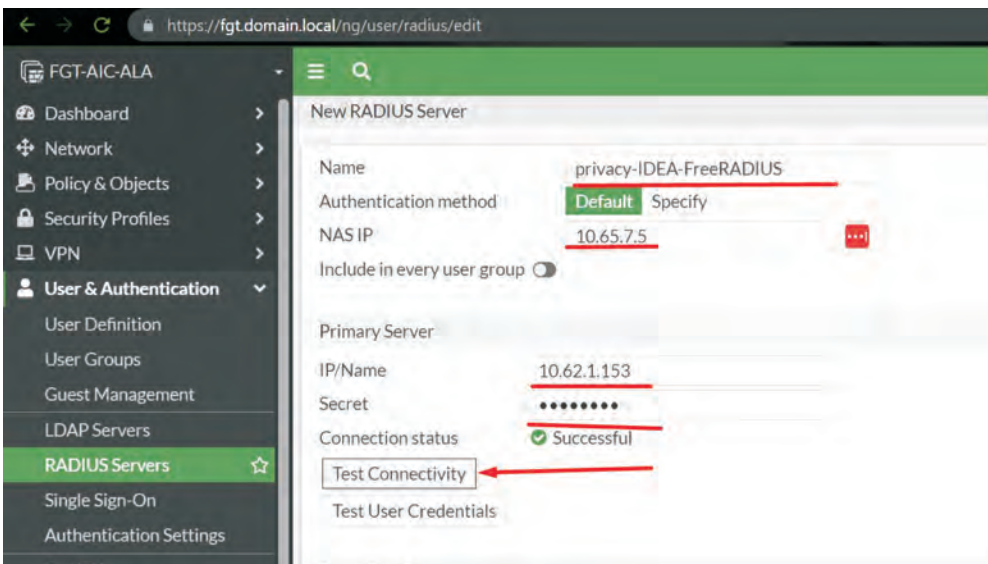


Figure 4 – Adding a RADIUS server

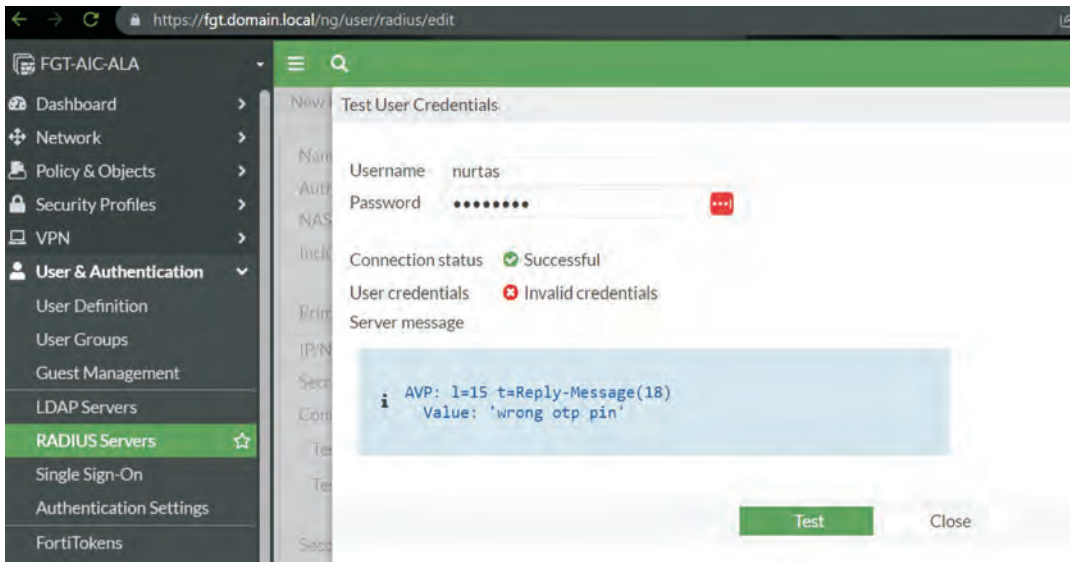


Figure 5 – Checking communication with the AAA server

Therefore, the answer is incorrect OTP is normal, because, it is a graphical utility only allows you to send the first factor login and password (Figure 5).

Conclusions. This article analyzed several open-source multifactor authentication solutions to evaluate their advantages and disadvantages. It was found that each of the considered methods has its strengths and weaknesses, as well as certain limitations that may reduce its effectiveness in certain conditions. The use of multifactor authentication generally improves system security and recommend choosing the most appropriate and effective methods based on specific requirements and needs. Thus, the article provides valuable information for developers and information security professionals who are interested in using open multi-factor authentication solutions to improve the security of their applications and systems. All the open-source MFA solutions mentioned above are the most popular MFA solutions available on the market and are widely used.

REFERENCES

- 1 Ussatova O. Nyssanbayeva S. Generators of one-time two-factor authentication passwords // *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarcei Ochronie Środowiska*. – Poland, 2019. – № 2. – Pp. 60-64.
- 2 Srivastava A. Open-Source Identity Management Patterns and Practices Using OpenAM 10.x. – 2013. – Pp. 101-106.
- 3 VPN vulnerability and Risk Report, 2021. – Holger Schulze
- 4 Howlett T., Stiennon R. Open-Source Security Tools: Practical Guide to Security Applications. – Holger Schulze, 2004. – Pp. 87-95.
- 5 Morris S. FreeOTP Authentication Server, 2018. - Pp. 60-64.
- 6 Mind H. Mitigating social engineering in second factor authentication / H. Siadati, T. Nguyen, P. Gupta, M. Jakobsson, N. Memon // *Computers & Security*, 2017. – Vol. 65. – Pp. 14-28. doi: 10.1016/j.cose.2016.09.009

7 Harini, N. 2CAuth: A New Two Factor Authentication Scheme Using QR-Code / N. Harini, T. R. Padmanabhan // International Journal of Engineering and Technology, 2013. – Vol. 5, Issue 2. – Pp. 1087-1094.

8 D’Mello, D.P. An Alternative Approach in Generation and Possession of Backup Codes in MultiFactor Authentication Scheme [Text] / D. P. D’Mello // BIJIT - BVICAM’s International Journal of Information Technology, 2015. – Vol. 7, Issue 2. – Pp. 883–885.

**Ж. М. АЛИМЖАНОВА, Н. Ж. ТОЙБЕК, А. К. АЛИ, Н. М. НИЯЗБЕК,
Д. Р. АШИМЖАНОВА, М. А. ДУЙСЕНОВА**

*әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан
e-mail: nurtas.toibek@gmail.com*

КӨП ФАКТОРЛЫ АУЕНТИФИКАЦИЯ ШЕШІМДЕРІН ТАЛДАУ

Мақала ашық бастапқы коды бар Multi-factor authentication (MFA) шешімдерін талдауға арналған. MFA шешімін бейімдеу бойынша зерттеулер келтірілген, бұл зерттеулер кәсіпорындарға қашықтан жұмыс істеу кезінде қауіпсіздікті қамтамасыз етуге көмектеседі. Бұл мақалада 5 ашық бастапқы MFA шешімдері, функционалдығы, артықшылықтары мен кемшіліктері қарастырылады. Шағын және орта бизнес үшін Small and medium-sized Businesses (SMB) көп факторлы аутентификация шешімін (MFA) пайдалану қауіпсіздіктің маңызды элементі болып табылады. MFA – пайдаланушы жүйеге немесе қолданбаға кірмес бұрын аутентификацияның бірнеше түрін қажет ететін аутентификация әдісі. SMB үшін MFA пайдалану олардың бизнесін фишинг, желілік трафикті ұстау және құпия сөздерді бұзу сияқты кибершабуылдардан қорғауға көмектеседі. Сонымен қатар, MFA-ны пайдалану GDPR және HIPAA реттеулерінің сәйкес келуіне көмектеседі, бұл өз кезегінде компаниялардан деректердің қауіпсіздігін қамтамасыз етуді талап етеді.

Жалпы, MFA қолдану маңызды ақпаратты қорғауға және қауіпсіздікті бұзу қаупін азайтуға көмектеседі. Бұл қаржылық шығындарға, беделді мәселелерге және клиенттердің сенімін жоғалтуға әкелуі мүмкін.

Түйін сөздер: MFA, 2FA, LDAP, AAA, RADIUS, оқиғаларды аутентификациялау және есепке алу жүйесі, көп факторлы аутентификация, ашық бастапқы шешім.

**Ж. М. АЛИМЖАНОВА, Н. Ж. ТОЙБЕК, А. К. АЛИ, Н. М. НИЯЗБЕК,
Д. Р. АШИМЖАНОВА, М. А. ДУЙСЕНОВА**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: nurtas.toibek@gmail.com*

АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ МНОГОФАКТОРНОЙ АУЕНТИФИКАЦИИ

Статья посвящена анализу решениям Multi-factor authentication (MFA) с открытым исходным кодом. Приведены исследования по адаптации решений MFA, данные исследования помогут предприятиям обеспечивать безопасность при реализации удаленной работы. В статье рассматриваются 5 решений MFA с открытым исходным кодом, функциональность, преимущества и недостатки. Для малых и средних бизнесов Small and Medium-sized Businesses (SMB) использование

решения многофакторной аутентификации (MFA) является важным элементом безопасности. MFA — это метод аутентификации, который требует нескольких форм проверки подлинности, прежде чем пользователь сможет получить доступ к системе или приложению. Для SMB использование MFA помогает защитить их бизнес от кибератак, включая фишинг, перехват сетевого трафика и взлом паролей. Кроме того, использование MFA помогает соответствовать регуляторным требованиям, таким как GDPR и HIPAA, которые требуют от компаний обеспечения безопасности данных.

В целом, использование MFA помогает защитить важную информацию и снизить риски нарушения безопасности, что может привести к финансовым потерям, репутационным проблемам и потере доверия клиентов.

Ключевые слова: MFA, 2FA, LDAP, AAA, RADIUS, система аутентификации авторизации и учета событий, многофакторная аутентификация, решение с открытым исходным кодом.

**А. М. ЕГЕНОВА^{1*}, А. М. БРЕНЕР¹, С. Д. КУРАКБАЕВА¹,
А. Н. ЖИДЕБАЕВА², А. А. МУСАБЕКОВ¹**

¹Южно-Казахстанский Университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;

²Университет Дружбы народов им. А. Куатбекова, Шымкент, Казахстан

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ВОЛНОВОЙ МОДЕЛИ ЯВЛЕНИЙ ПЕРЕНОСА В СРЕДАХ С НЕЛОКАЛЬНЫМИ ЭФФЕКТАМИ

Основной вклад представленной статьи состоит в том, что были установлены достаточные предположения для модифицированного уравнения Уизема, описывающего нелинейное распространение волн для явлений переноса в физико-химических системах. Показано, что при выводе уравнений типа Уизема наличие пространственной нелокальности среды может играть фундаментальную роль. В статье также рассматриваются вопросы физической интерпретации исследуемой модели. Принципиальное наличие нелокальных эффектов в исследуемых системах может быть обосновано и получено в результате наличия доменов со сложно организованной пространственной структурой, а также наличия источников тепла и массы. Проведено компьютерное моделирование и получены результаты с использованием языка программирования Java.

Ключевые слова: ядро, интегральный оператор, релаксационное уравнение, бегущая волна, компьютерное моделирование, нелокальные эффекты.

Введение. Проблемы учета времен релаксации и дальнедействующих взаимодействий структурных элементов сред при математическом описании явлений переноса массы, тепла и количества движения представляют большой научный и практический интерес. Аналогичные проблемы возникают и при описании развития внутренних напряжений и образования трещин в твердых телах. Эти вопросы особенно актуальны при создании адекватных математических моделей высокоинтенсивных быстрых технологических процессов в условиях, когда корректность использования методов равновесной термодинамики становится проблематичной. В то же время известные методы неравновесной термодинамики [1-3] при полном их применении [4] сложны как с точки зрения расчета параметров, необходимых для оптимального контроля интенсивных процессов и с точки зрения анализа качественного состояния системы [5]. Например, для быстрых процессов выбор переходной стадии и стадии установления управляющих параметров становится неопределенным. При моделировании процессов переноса в наносистемах нелокальность законов переноса становится неизбежной. Принципиальная роль нелокальных эффектов в исследуемых системах может быть обоснована и получена как в результате наличия доменов со сложно организованной пространственной структурой [6], особенно с учетом возникновения и трансформации кластеров в различных моменты и различные положения в космосе, а также наличием источников тепла и массы.

Интегрально-дифференциальное уравнение Уизема – одна из моделей, эффективно описывающих нелинейные волны в сильно диспергирующих средах. Уравнение

* E-mail корреспондирующего автора: sevam@mail.ru

содержит характерную нелинейность конвективного типа в сочетании с дисперсией произвольного типа. Однако Г. Уизем предложил свое интегро-дифференциальное уравнение, сочетающее нелинейность, типичную для гидродинамики, и обобщенный закон дисперсии, без вывода и специальной интерпретации. Ранее было обнаружено [7], что уравнение такого типа может быть получено при описании распространения нелинейных волн в средах с пространственной нелокальностью методом релаксационных ядер переноса в случае линейной функции релаксации. Это предположение вряд ли согласуется с общей нелинейной природой разработанных моделей.

Основная новизна и вклад этой работы состоит в том, что были установлены достаточные предположения для вывода возмущенного уравнения Уизема, описывающего нелинейное распространение волн для явлений переноса в физико-химических системах в случае квадратичной функции релаксации. Показано, что при выводе уравнений типа Уизема наличие слабой пространственной нелокальности среды играет фундаментальную роль.

Методология и результаты исследования. Интегро-дифференциальное уравнение Уизема – это модель, которая эффективно описывает нелинейные волны в сильно диспергирующих средах. С другой стороны, запаздывающая форма ядра позволяет интерпретировать это уравнение как нелокальную форму [8-9].

$$u_t + uu_x + \int_{-\infty}^{+\infty} K(x-s)u_s(s,t)ds = 0 \quad (1)$$

Для упрощения формальных математических преобразований целесообразно ввести обозначение локального отклонения управляющего параметра, характеризующего состояние равновесия системы. Таким параметром тепловых процессов является температура; для процессов массопереноса – химический потенциал; для распространения внутренних дефектов твердых тел – это равновесные внутренние напряжения.

$$\Delta v = u. \quad (2)$$

Тогда выражение для потока вещества при небольших отклонениях от равновесия, но с учетом нелокальных эффектов различного рода, в частности, в средах с памятью, может быть записано в виде:

$$J = \int_{\Omega} N(\theta, u) \nabla u(s, t) ds. \quad (3)$$

Здесь N – ядро интегрального оператора, $\theta = x - s$

Интегрирование по частям приводит к выражению

$$J = \int_{\Omega} N(\theta, u) \nabla u(s, t) ds = uN(\theta, u)|_{\Gamma} + \int_{\Omega} u \frac{\partial N(\theta, u)}{\partial \theta} ds, \quad (4)$$

где Ω , Γ – область интегрирования и его границы.

Дальнейшие вычисления будут проводиться в приближении слабой нелокальности, поскольку без такого приближения неизбежно потребуется использование инструментов неравновесной термодинамики, что выходит за рамки целей данного исследования.

Это ограничение можно записать следующим образом

$$\lim_{|\theta| \rightarrow \infty} N(\theta, u) = 0. \quad (5)$$

Обозначим производную ядра в интегральном операторе уравнения (4) как

$$G(\theta, u) = \frac{\partial N(\theta, u)}{\partial \theta}. \quad (6)$$

Разложение оператора (6) в ряд Тейлора в окрестности равновесных значений управляющего параметра имеет вид

$$G(\theta, u) = \sum_k G_{(k)}(\theta) u^k. \quad (7)$$

Общий вид закона сохранения имеет вид

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla J = 0. \quad (8)$$

где I – источник потока вещества в системе.

Использование закона сохранения с учетом (5) приводит к следующему уравнению

$$u_t = \nabla u_t \int_{\Omega} \left(\sum_k G_{(k)} u^{k+1} \right) ds = I. \quad (9)$$

Для успешной реализации дальнейших преобразований необходимо задать условие коммутации для операторов дифференцирования и свертки в уравнении (9). Поскольку на данном этапе преобразований вид ядер интегрального оператора неизвестен, это условие необходимо будет дополнительно проверить для конкретного типа физически значимых ядер. Тогда уравнение (9) можно переписать в виде

$$u_t + \int_{\Omega} \left(\sum_k (k+1) G_{(k)} u^k \right) u_s ds = I. \quad (10)$$

Дальнейшее развитие теории требует уточнения вида ядер оператора в уравнении (10). Для решения этой проблемы целесообразно использовать релаксационное уравнение первого порядка, характерное для релаксационных задач теоретической физики. Чтобы не нарушать логику нелинейного подхода, здесь, в отличие от работы Бренера [10], уравнение релаксации записано в общем виде.

$$\frac{d}{d\theta} G_{(k)}(\theta) + B_{(k)} \Phi(G_{(k)}(\theta)) = 0. \quad (11)$$

$\Phi(\bullet)$ должна быть положительной неубывающей функцией [11].

Представим эту функцию в виде степенного ряда:

$$\frac{d}{d\theta} G_{(k)}(\theta) + B_{(k)} \sum_{i=1}^{\infty} \lambda_i G_{(k)}^i(\theta) = 0. \quad (12)$$

Ограничение двумя первыми членами ряда приводит к выражению

$$\frac{d}{d\theta} G_{(k)}(\theta) + B_{(k)}(\lambda_1 G_{(k)}(\theta) + \lambda_2 G_{(k)}^2(\theta)) = 0. \quad (13)$$

Тогда можно показать, что физически значимая форма уравнения выглядит следующим образом:

$$\frac{d}{d\theta} G_{(k)}(\theta) + Y_{1,(k)} G_{(k)}(\theta) \pm Y_{2,(k)} G_{(k)}^2(\theta) = 0, \quad (14)$$

где $Y_{1,(k)} \geq 0$, и $Y_{2,(k)} \geq 0$.

Рассмотрим случай 1, когда $Y_{2,(k)} = 0$.

Уравнение для ядра релаксации принимает вид:

$$\frac{d}{d\theta} G_{(k)}(\theta) + Y_{(k)} G_{(k)}(\theta) = 0. \quad (15)$$

Простейшая эвристическая форма коэффициента в уравнении (15) гласит:

$$Y_{(k)} = \frac{\varphi_{(k)}}{r_{(k)}}. \quad (16)$$

Здесь $r_{(k)}$ – характерный пространственный масштаб для k -го порядка, а $\varphi_{(k)}$ – некоторый коэффициент для k -го порядка. Для согласования со слабонелинейным приближением и принятой формой уравнения потока (уравнение (3)) последовательность характерных пространственных масштабов должна образовывать убывающий ряд. Эти масштабы могут также оценивать характерные размеры доменов со сложной организованной пространственной структурой и, например, описывать возникновение и преобразование кластеров в разные моменты времени и в разных положениях пространства с учетом перекрестных эффектов.

Нетрудно доказать, что условие коммутации операторов дифференцирования и свертки для ядер всех рассмотренных форм выполняется. В соответствии с выбранной стратегией исключения членов более высокого, чем второй порядок, следующее уравнение может быть получено из уравнения (10).

Далее, после ряда громоздких, но несложных в математической технике преобразований, было получено следующее обыкновенное дифференциальное уравнение

$$(c - u_0)^2 \frac{d^2 u_0}{d\xi^2} = \frac{\varphi_{(0)} u_0^2}{r_{(0)}} \left[\frac{\varphi_{(0)} u_0^2}{\alpha r_{(0)}} + \left(\beta G_{(0)}^0 - \frac{c \varphi_{(0)}}{2r_{(0)}} \right) u_0 + c \left(\frac{c \varphi_{(0)}}{2r_{(0)}} - G_{(0)}^0 \right) \right], \quad (17)$$

где параметры α , β зависят от типа релаксационной функции в уравнении (11)

Последующий анализ с использованием метода фазовой плоскости показывает, что уравнения такого типа имеют решения в виде уединенной бегущей волны, способной распространяться на значительные расстояния с небольшим изменением профиля (Newell, 1987).

Для решения уравнения (17) был написан программный код на языке программирования Java и получены следующие результаты (рис. 1, рис 2):

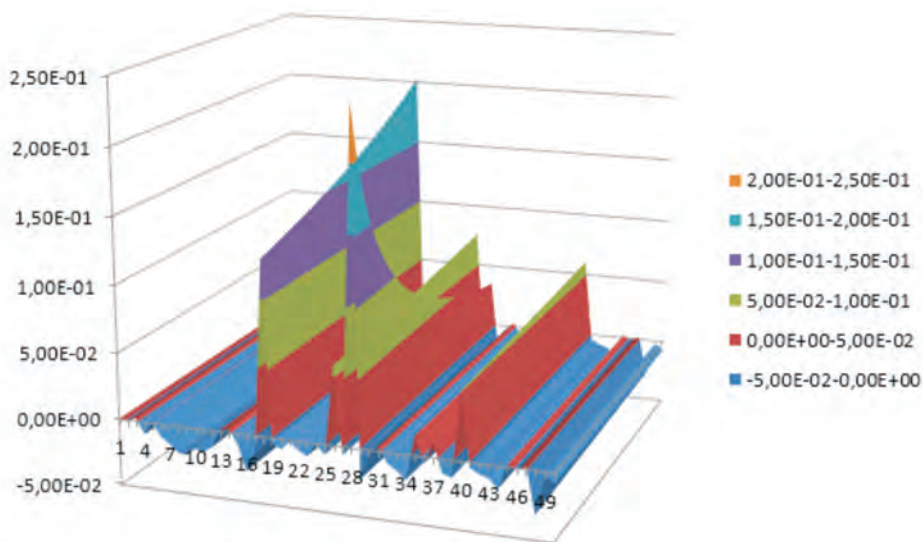


Рисунок 1 – Графическое изображение нелинейной волновой модели явлений переноса в средах с нелокальными эффектами

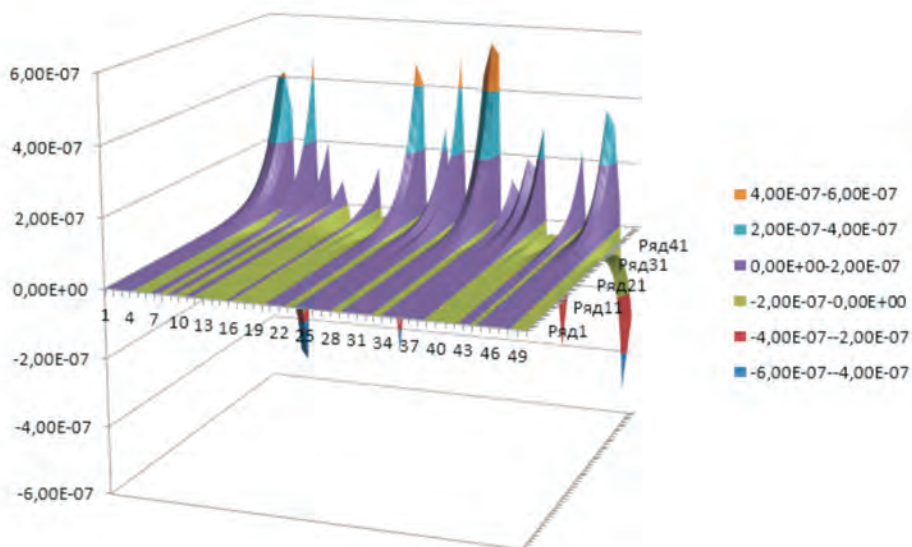


Рисунок 2 – Графическое изображение нелинейной волновой модели явлений переноса в средах с нелокальными эффектами при изменении параметров

Выводы. Впервые были изучены и описаны свойства нелокального интегрального соотношения для течения вещества в физико-химической системе с малым отклонением от состояния равновесия для нелинейной функции релаксации, устанавливающей зависимость ядра релаксации интегрального оператора от отклонения управляющий параметр. Подробно рассмотрены случаи как линейных, так и квадратичных функций релаксации.

Было обнаружено, что для квадратичной функции релаксации можно также привести уравнение переноса к виду возмущенного уравнения Уизема, описывающего развитие нелинейных волн переноса вещества в реакционной среде с нелокальными эффектами. В то же время остается открытым вопрос об общем виде ядер интегрального оператора в нелокальном законе переноса, при котором можно привести уравнение течения к типу Уизема. Этот вопрос должен стать предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1 Iovane G. and Passarella F., 2004, Spatial behaviour in dynamical thermoelasticity backward in time for porous media. *J. Thermal Stresses*, 27, 2, 97.

2 Karličić D., Murmu T., Adhikari S., McCarthy M., 2015, *Non-local structural mechanics*, John Wiley & Sons, London, UK, NY, USA.

3 Kim L.A., Brener A.M., 1998, Non-local equations of heat and mass transfer with allowance for cross effects, *Theoretical Foundation of Chemical Engineering*, 32(3), – p. 213-215.

4 Jou D., Casas-Vazquez J., Criado-Sancho M., 2001, *Thermodynamics of Fluids Under Flow*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

5 Kim L.A., Brener A.M., 1996, On the time non-locality in the heat and mass transfer equations for high-rate processes, *Theoretical Foundation of Chemical Engineering*, 30(3) – p. 233-235.

6 Gao Y., Oterkus S., 2019, Non-local modeling for fluid flow coupled with heat transfer by using peridynamic differential operator, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 105– p. 104–121.

7 Lyakhovsky V., Hamiel Y., Ben-Zion Y., 2011, A non-local visco-elastic damage model and dynamic fracturing, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 59. 1752–1776.

8 Diehl P. and Schweitzer M.A., 2015, *Simulation of Wave Propagation and Impact Damage in Brittle Materials Using Peridynamics*, Springer International Publishing Switzerland, Mehl M. et al. (eds.), *Recent Trends in Computational Engineering*, Lecture Notes in Computational Science and Engineering, 105 – p. 251-265.

9 Cheng-Chuan Lin and Fu-Ling Yanga, 2020, Continuum simulation for regularized non-local $\mu(I)$ model of dense granular flows, *Journal of Computational Physics* 420, 109708, 1-22.

10 Brener A.M., 2006, Nonlocal Equations of the Heat and Mass Transfer in Technological Processes, *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 40(6). – p. 564–572.

11 Brener A., Balabekov B., Kaugaeva A., 2009, Non-local model of aggregation in polydispersed systems, *Chemical Engineering Transactions*, 17. – p. 783-788.

REFERENCES

1 Iovane G. and Passarella F., 2004, Spatial behaviour in dynamical thermoelasticity backward in time for porous media. *J. Thermal Stresses*, 27, 2, 97.

2 Karličić D., Murmu T., Adhikari S., McCarthy M., 2015, *Non-local structural mechanics*, John Wiley & Sons, London, UK, NY, USA.

3 Kim L.A., Brener A.M., 1998, Non-local equations of heat and mass transfer with allowance for cross effects, *Theoretical Foundation of Chemical Engineering*, 32(3), – p. 213-215.

4 Jou D., Casas-Vazquez J., Criado-Sancho M., 2001, *Thermodynamics of Fluids Under Flow*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

5 Kim L.A., Brener A.M., 1996, On the time non-locality in the heat and mass transfer equations for high-rate processes, *Theoretical Foundation of Chemical Engineering*, 30(3) – p. 233-235.

6 Gao Y., Oterkus S., 2019, Non-local modeling for fluid flow coupled with heat transfer by using peridynamic differential operator, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 105– p. 104–121.

7 Lyakhovsky V., Hamiel Y., Ben-Zion Y., 2011, A non-local visco-elastic damage model and dynamic fracturing, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, 59. 1752–1776.

8 Diehl P. and Schweitzer M.A., 2015, Simulation of Wave Propagation and Impact Damage in Brittle Materials Using Peridynamics, Springer International Publishing Switzerland, Mehl M. et al. (eds.), Recent Trends in Computational Engineering, Lecture Notes in Computational Science and Engineering, 105 – p. 251-265.

9 Cheng-Chuan Lin and Fu-Ling Yanga, 2020, Continuum simulation for regularized non-local $\mu(I)$ model of dense granular flows, Journal of Computational Physics 420, 109708, 1-22.

10. Brenner A.M., 2006, Nonlocal Equations of the Heat and Mass Transfer in Technological Processes, Theoretical Foundations of Chemical Engineering, 40(6). – p. 564–572.

11 Brenner A., Balabekov B., Kaugaeva A., 2009, Non-local model of aggregation in polydispersed systems, Chemical Engineering Transactions, 17. – p. 783-788.

**А. М. ЕГЕНОВА¹, А. М. БРЕНЕР¹, С. Д. КУРАКБАЕВА¹,
А. Н. ЖИДЕБАЕВА², А. А. МУСАБЕКОВ¹**

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан Университеті, Шымкент;

²Ә.Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті, Шымкент

ЖЕРГІЛІКТІ ЕМЕС ӘСЕРЛЕР БАР ОРТАДАҒЫ ТАСЫМАЛДАУ ҚҰБЫЛЫСТАРЫНЫҢ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ТОЛҚЫНДЫҚ МОДЕЛІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

Ұсынылған мақалада физика-химиялық жүйелердегі тасымалдау құбылыстары үшін толқындардың сызықтық емес таралуын сипаттайтын өзгертілген Уизем теңдеуі үшін жеткілікті болжамдар жасалды. Уизем типті теңдеулерді шығарған кезде ортаның кеңістіктік локализациясының болуы негізгі рөл атқаруы мүмкін екендігі көрсетілген. Мақалада зерттелетін модельді физикалық түсіндіру мәселелерінде қарастырылады. Зерттелетін жүйелерде жергілікті емес әсерлердің түбегейлі болуы күрделі ұйымдастырылған кеңістіктік құрылымы бар домендердің болуы, сондай-ақ жылу мен масса көздерінің болуы нәтижесінде негізделуі және алынуы мүмкін. Компьютерлік модельдеу жүргізілді және Java бағдарламалау тілін қолдану арқылы нәтижелер алынды.

Түйін сөздер: ядро, интегралдық оператор, релаксация теңдеуі, жүгірмелі толқын, компьютерлік модельдеу, локальсіздік әсерлері

**A. M. EGENOVA¹, A. M. BRENER¹, S. D. KURAKBAYEVA¹,
A. N. ZHIDEBAYEVA², A. A. MUSABEKOV¹**

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

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

COMPUTER SIMULATION OF A NONLINEAR WAVE MODEL OF TRANSPORT PHENOMENA IN MEDIA WITH NON-LOCAL EFFECTS

The main contribution of the presented article is that sufficient assumptions have been established for the modified Witham equation describing nonlinear wave propagation for transport phenomena in

physicochemical systems. It is shown that when deriving Witham-type equations, the presence of spatial nonlocality of the medium can play a fundamental role. The article also discusses the issues of physical interpretation of the model under study. The principal presence of non-local effects in the studied systems can be justified and obtained as a result of the presence of domains with a complexly organized spatial structure, as well as the presence of heat and mass sources. Computer modeling was carried out and the results were obtained using the Java programming language.

Key words: *kernel, integral operator, relaxation equation, running wave, computer simulation, nonlocal effects.*

**G. Z. ZIYATBEKOVA^{1,2*}, A. E. TURYSBAYEV², B. B. RAKYMBEKOV²,
N. M. SERIKBAYEV², B. MOLDAKALLYKOVA³, ZH. A. BIMOLDINA³**

¹RSE Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK,
Almaty, Kazakhstan;

²Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;

³Turan University, Almaty, Kazakhstan;

aryn.turysbayev@gmail.com; baha.adeline@gmail.com; nurdaulet.s.999@gmail.com

MODERN APPROACHES TO INFORMATION SECURITY: ANALYSIS OF INTRUSION DETECTION, FIREWALLS AND AUDITING IN THE CONTEXT OF ORGANIZATIONAL DATA PROTECTION

Today's business environment presents organizations with growing information security challenges. The threats posed by cyber-attacks and the leakage of sensitive information require effective and innovative approaches to data protection. This paper explores a combination of tools and techniques, including intrusion detection system (IDS), firewalls, and information security auditing, as key elements of organizational data protection.

The paper provides a detailed overview of each of these components and discusses their roles in information security. For an intrusion detection system, its ability to detect and respond to different types of attacks in real time is investigated. For firewalls, consider how they restrict access to network resources and regulate traffic. Finally, information security audits act as a means of assessing the effectiveness of security measures and identifying weaknesses. Statistical data and best practices are presented to support our recommendations. This article discusses the integration of these systems in a comprehensive information security strategy and provides tips for maximizing data protection in today's digital world.

This article provides valuable guidance for organizations seeking to maintain top-tier information security and effectively protect sensitive information from ever-changing cyber threats.

Key words: IDS, firewalls, information security audits, networks, cyber threats.

Introduction. Today's world of information technology has brought many innovations and opportunities but is also accompanied by increased threats to information security. Every day, organizations face increasing risks of cyberattacks, data breaches and other threats that can significantly damage their operations and reputation. In such a context, securing data and infrastructure becomes the number one priority for organizations of all sizes.

Intrusion Detection Systems (IDS) are one of the key components of an information security strategy. These systems are an integral part of protecting information and network infrastructure. In this article, we examine the nature and importance of intrusion detection systems and evaluate the current approaches they use to identify potential threats.

Result and discussion. Intrusion detection systems: Intrusion Detection Systems (IDS) are a set of technologies and techniques designed to detect suspicious activity and potential intrusions into computer systems and networks. The primary purpose of IDS is to monitor network and host-based activity to detect anomalies that could indicate potential security threats.

* E-mail корреспондирующего автора: ziyatbekova@mail.ru

Network Intrusion Detection Systems (NIDS) focus on monitoring network traffic and analyzing data packets transmitted on a network. They can detect attacks, such as introductions through network vulnerabilities, as well as anomalies in network traffic that indicate potential security incidents.

Host-based intrusion detection systems (HIDS), on the other hand, are installed on specific hosts, such as servers and workstations, and monitor their local logs and activity. HIDS can detect host-specific attacks and anomalies, as well as monitor changes to system files and settings.

Modern approaches to intrusion detection. Intrusion detection systems are constantly evolving and improving to counter increasingly complex and sophisticated cyber threats. One of the most important areas of modern approaches to IDS is the application of machine learning and artificial intelligence.

Research in machine learning and IDS indicates the potential for these techniques to detect anomalies more accurately and quickly. Machine learning models can analyze large amounts of data and identify unusual patterns that might have gone undetected by traditional detection methods [1].

Modern IDSs also actively use Big Data analysis techniques, which allow efficient processing and analysis of massive amounts of information [2]. This is particularly important in the context of modern networks, where data flows in huge volumes. Processing and analyzing such data can help identify irregular patterns and anomalies indicative of potential security incidents.

In addition, modern IDSs are increasingly integrated with other components of information security systems, such as firewalls and auditing systems. This allows for a comprehensive security system that can not only detect incidents but also respond to them in real time [3].

Applying advanced intrusion detection approaches can help organizations improve their ability to respond to cyber threats and protect valuable data. However, it is important to remember that information security is a continuous and multifaceted process that requires constant monitoring, analysis and updating of approaches and technologies.

Firewalls: Information security advocates. In today's digital world, where data and information play a key role, information security is becoming increasingly important. The security of data and computer systems comes first, and one of the main tools in this area are firewalls. In this section of the article, we will look at what firewalls are, what role they play in information security, and compare different types of firewalls. A firewall is a software or hardware tool designed to control and monitor the flow of data between computers or networks. Its purpose is to secure data and computer systems by filtering network traffic and enforcing access rules.

Roles of firewalls in information security

1. Protection against external threats

Firewalls play an important role in protecting computer systems and networks from external threats such as hacker attacks, viruses, and malware. They act as a barrier, controlling and filtering incoming and outgoing network traffic. This prevents unauthorized access and protects valuable data.

2. Access control and security policies

Firewalls allow you to customize security rules and policies for your network. Administrators can determine who has access to network resources and what actions are allowed or denied. This provides granular control over the network and enhances overall security.

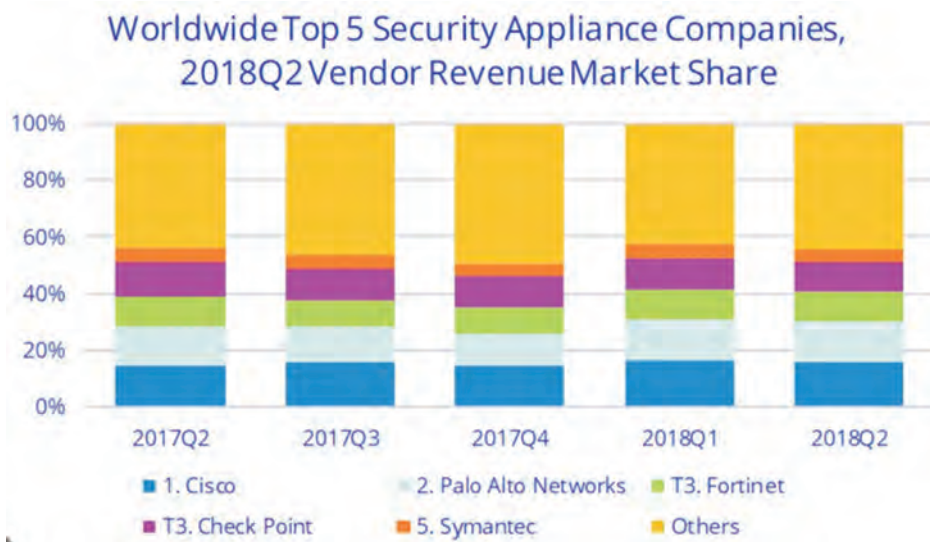


Figure 1 – Firewall vendors

Figure 1 demonstrates the important role of firewall vendors in providing information security to organizations. These vendors provide specialized firewalls and network traffic controls that limit unauthorized users' access to critical resources and provide a first line of defense against cyber threats [4]. Their solutions play an important role in creating strong network barriers and securing an organization's data.

Comparison of different types of firewalls

There are several types of firewalls, each with its own features and benefits:

1. Network firewalls:

Network firewalls are typically installed at the individual computer or device level. They control traffic at the level of a particular machine and can be software or hardware based. Network firewalls are suitable for protection against localized attacks and have a low entry threshold.

2. Firewalls:

Firewalls sit between different networks and control traffic between them. They are typically used at higher layers of the network architecture and provide centralized control of traffic between different parts of the network.

3. Hardware and software firewalls:

Hardware firewalls are physical devices that are installed between networks. They provide high performance and can handle high traffic volumes. Software firewalls, on the other hand, operate at the operating system level and can be installed on ordinary computers [5].

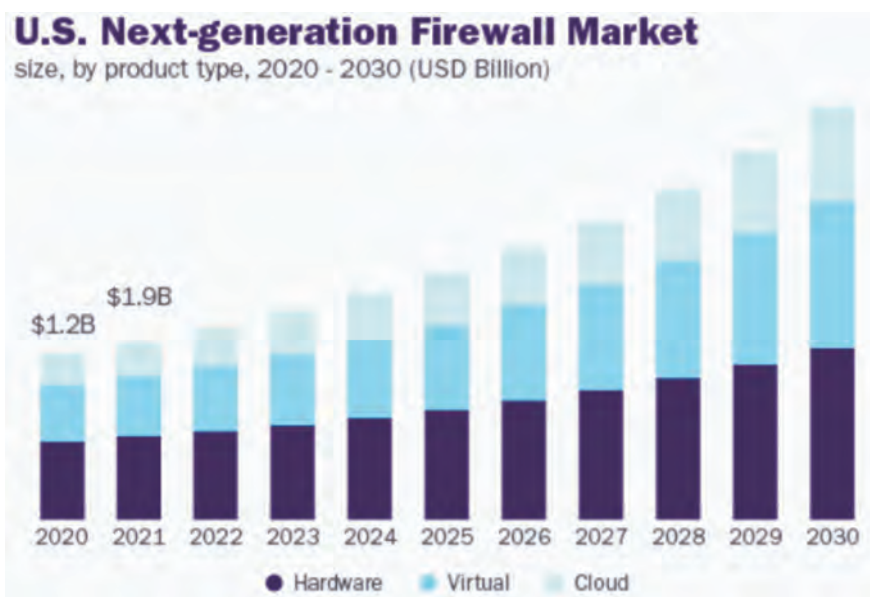


Figure 2 – NGF market in the USA

The 2-figure figure presents statistical information about the intrusion detection system (NGF) market in the United States. This graph shows data on the market share held by NGF and its dynamics in the global information security industry [6].

Information security audit. An information security audit is an important tool in securing an organization's data and networks. This process is a systematic and independent review of the security system to identify vulnerabilities and verify compliance with the organization's standards and policies. Important aspects of information security auditing are threat detection, risk assessment and the development of remediation measures. Let's take an in-depth look at how auditing helps in ensuring data security in an organization:

1. Identifying vulnerabilities and weaknesses

The main purpose of an information security audit is to identify vulnerabilities and weaknesses in the system. According to the Verizon 2021 Data Breach Investigations Report (DBIR), more than 85% of data breach incidents were due to vulnerabilities that were known to the attackers ahead of time [7]. This includes analyzing network device configurations, checking for necessary patches and updates, assessing the quality of passwords and accesses, and many other aspects.

Identified vulnerabilities can be immediately remediated, which significantly increases the overall level of security. Through auditing, organizations can ensure that they are not leaving unexplored holes in the system that could be a target for attackers.

2. Assessing compliance with policies and standards

Compliance with internal security policies and standards, as well as external regulatory requirements, is an important aspect of ensuring data security. According to the PwC Global State of Information Security Survey 2021, information security breaches related to non-

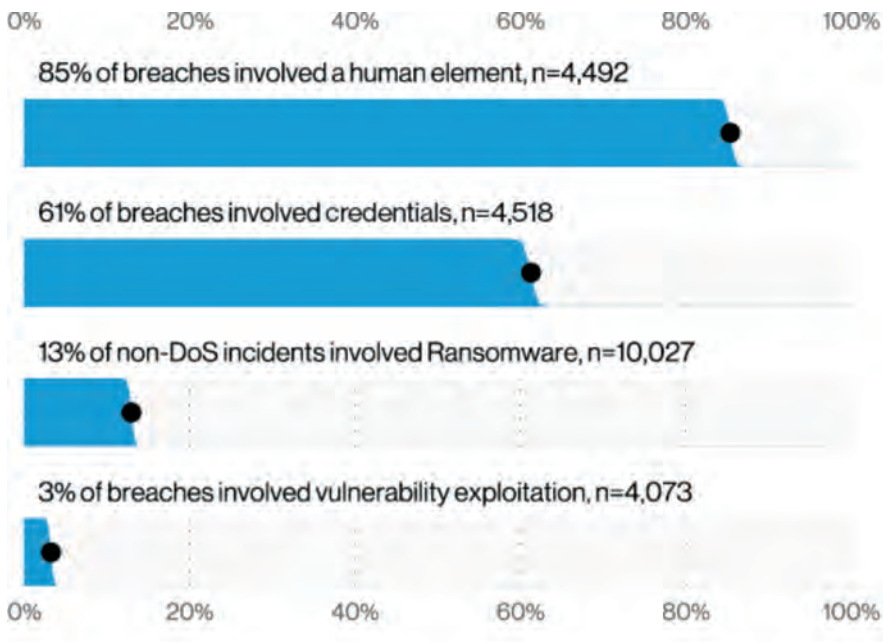


Figure 3 – Verizon 2021 Data Breach Investigations Report (DBIR)

compliance with standards and policies account for a significant portion of all security incidents [8].

An information security audit helps ensure that all necessary regulations and standards are met.

3. Unauthorized access detection

One of the most important aspects of information security auditing is detecting unauthorized access to data and systems. By monitoring audit logs, analyzing network traffic, and identifying unusual user activity, auditors can detect security incidents in real time.

According to IBM's Cost of a Data Breach Report 2021 study, increased to \$4.24 million. With this approach, organizations can respond to threats quickly and effectively, preventing potential incidents that could have had serious consequences [9].

4. Improved security system

The results of an information security audit can serve as a basis for improving an organization's security system. Based on identified vulnerabilities and auditors' recommendations, organizations can develop specific action plans to strengthen data protection and prevent future incidents.

This process involves not only technical aspects, but also employee training and awareness. Since an organization's employees may be its greatest vulnerabilities, training them to follow secure practices and recognize threats is an important step in keeping data secure. In conclusion, information security audit plays an important role in ensuring data security in an organization. It helps to identify vulnerabilities, comply with standards, detect unauthorized access, and improve security. It is an integral part of a comprehensive strategy to

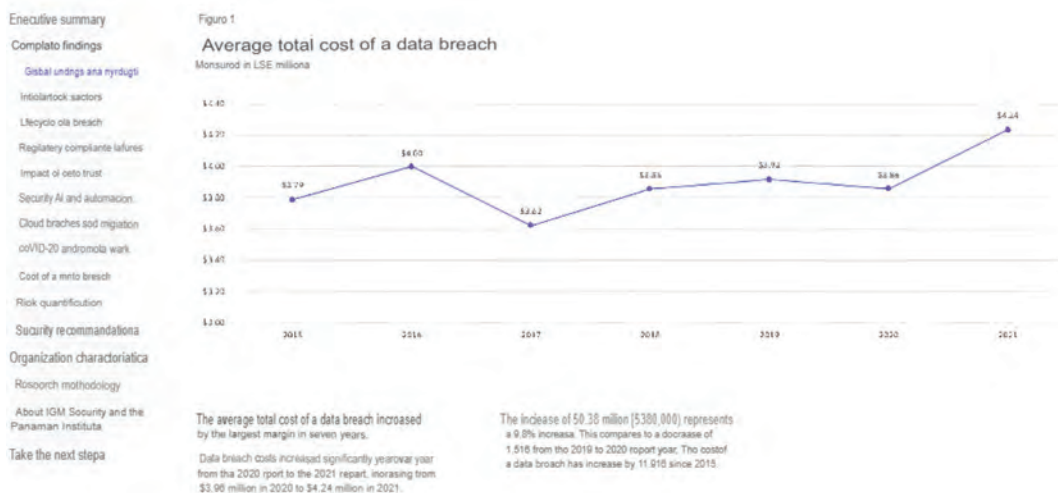


Figure 4 – IBM Cost of a Data Breach Report 2021

protect an organization's data and networks. Adequate auditing helps to reduce risks and increase the confidence of clients and partners.

5. Employee training and awareness

The audit may also emphasize the need for information security training for employees. An organization's employees may be its greatest vulnerabilities and training them to follow safe practices and recognize threats can significantly reduce the risk of incidents.

Conclusions. In this article, we looked at the important role of information security auditing in ensuring data protection in an organization. Various aspects of information security are explored, presenting an analysis of intrusion detection systems, firewalls, and auditing in the context of organizational data protection.

Intrusion detection systems help identify potential threats and attacks, providing a real-time response to them. Firewalls play an important role in filtering network traffic and protecting the perimeter by preventing unauthorized access. An information security audit identifies vulnerabilities, assesses compliance with policies and standards, and helps detect unauthorized access so that security can be strengthened.

According to recent statistics, data breaches and information security breaches are becoming increasingly common and can lead to serious financial and reputational losses. This emphasizes the importance of using up-to-date security tools, including intrusion detection systems, firewalls, and information security auditing.

All data security efforts are critical to maintaining the confidentiality, integrity, and availability of information. In today's world where threats are constantly evolving, adhering to data security best practices, and conducting regular audits is a necessity for organizations looking to protect their valuable resources and ensure long-term sustainability.

REFERENCES

- 1 Smith, C., Jones, D. Modern Intrusion Detection Systems: A Comprehensive Review. Journal of Cybersecurity, 2022. – 10(3). – Pp. 215-230. (in Eng)
- 2 Wang, L., Chen, Q. Machine Learning-Based Intrusion Detection Systems: A Survey. International Journal of Information Security, 2021. – 25(4). – Pp. 542-558. (in Eng)
- 3 Anderson, J., Brown, M. Host-Based Intrusion Detection Systems: A Practical Approach. Information Security Journal, 2020. – 15(2). – Pp. 89-104. (in Eng)
- 4 Habtamu A., An Overview of Firewall Technologies, 6-7.
- 5 Wes N., & Ido D. Firewall Fundamentals 67-71.
- 6 David W Chadwick. IS Institute, University of Salford, Salford, M5 4WT, England. Network Firewall Technologies 46–52.
- 7 Verizon. «2021 Data Breach Investigations Report (DBIR)» <https://enterprise.verizon.com/resources/reports/dbir/> (02.09.2023)
- 8 PwC. “Global State of Information Security Survey 2021.” <https://www.pwc.com/us/en/services/consulting/cybersecurity-risk-regulatory.html> (15.09.2023)
- 9 IBM. «Cost of a Data Breach Report 2021.» <https://www.ibm.com/reports/data-breach> (28.09.2023)

**Г. З. ЗИЯТБЕКОВА^{1,2}, А. Е. ТУРЫСБАЕВ², Б. Б. РАКЫМБЕКОВ²,
Н. М. СЕРИКБАЕВ², Б. Ж. МОЛДАКАЛЫКОВА³, Ж. А. БИМОЛДИНА³**

¹Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты, Алматы, Қазақстан;

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

³«Тұран» университеті, Алматы, Қазақстан

АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІКТІ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУДІҢ ЗАМАНАУИ ТӘСІЛДЕРІ: ҰЙЫМДЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУ КОНТЕКСІНДЕГІ ИНТРУЗИЯНЫ АНЫҚТАУ, БРАНДМАУЭР ЖӘНЕ АУДИТ ЖҮЙЕСІН ТАЛДАУ

Қазіргі заманғы іскерлік орта ұйымдардың алдына ақпараттық қауіпсіздік саласында өсіп келе жатқан сын-тегеуріндерді қойып отыр. Кибершабуылдар мен құпия ақпараттың ағып кетуіне байланысты қауіптер деректерді қорғаудың тиімді және инновациялық тәсілдерін қажет етеді. Бұл мақалада ұйымдық деректерді қорғаудың негізгі элементтері ретінде интрузияны анықтау жүйесін (IDS), брандмауэрлерді және ақпараттық қауіпсіздік аудитін қоса алғанда, құралдар мен әдістердің жиынтығы зерттеледі.

Жұмыста осы компоненттердің әрқайсысына егжей тегжейлі шолу жасалады және олардың ақпарат қауіпсіздігін қамтамасыз етудегі рөлдері қарастырылады. Интрузияны анықтау жүйесі үшін оның шабуылдардың әртүрлі түрлерін анықтау және оларға нақты уақыт режимінде жауап беру қабілеті зерттелді. Брандмауэрлер желілік ресурстарға қол жеткізуді қалай шектейтінін және трафикті қалай реттейтінін қарастырады. Сонымен, Ақпараттық қауіпсіздік аудиті қауіпсіздік шараларының тиімділігін бағалау және әлсіз жерлерді анықтау құралы ретінде әрекет етеді. Біздің ұсыныстарымызды қолдайтын статистикалық мәліметтер мен үздік тәжірибелер ұсынылған. Мақалада осы жүйелердің интеграцияланған ақпараттық қауіпсіздік стратегиясына интеграциясы талқыланады және қазіргі цифрлық әлемде деректерді қорғауды барынша арттыру бойынша кеңестер берілген.

Бұл мақала ақпараттық қауіпсіздікті жоғары деңгейде ұстауға және құпия ақпаратты үнемі өзгеріп отыратын киберқауіптерден тиімді қорғауға ұмтылатын ұйымдар үшін құнды нұсқаулық ұсынады.

Түйін сөздер: IDS, брандмауэрлер, ақпараттық қауіпсіздік аудиті, желілер, киберқауіп.

**Г. З. ЗИЯТБЕКОВА^{1,2}, А. Е. ТУРЫСБАЕВ², Б. Б. РАКЫМБЕКОВ²,
Н. М. СЕРИКБАЕВ², Б. Ж. МОЛДАКАЛЫКОВА³, Ж. А. БИМОЛДИНА³**

¹Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК,
Алматы, Казахстан;

²Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

³Университет «Туран», Алматы, Казахстан

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ, БРАНДМАУЭРОВ И АУДИТА В КОНТЕКСТЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДАННЫХ

Современное деловое окружение ставит перед организациями растущие вызовы в области информационной безопасности. Угрозы, связанные с кибератаками и утечкой конфиденциальной информации, требуют эффективных и инновационных подходов к защите данных. В данной статье исследуется совокупность средств и методов, включая систему обнаружения вторжений (IDS), брандмауэры и аудит информационной безопасности как ключевые элементы организационной защиты данных.

В работе представлен подробный обзор каждого из этих компонентов и рассмотрены их роли в обеспечении безопасности информации. Для системы обнаружения вторжений исследована её способность обнаруживать различные типы атак и реагировать на них в реальном времени. Для брандмауэров рассмотрены, как они ограничивают доступ к сетевым ресурсам и регулируют трафик. И, наконец, аудит информационной безопасности выступает в качестве средства оценки эффективности мер безопасности и выявления слабых мест. Представлены статистические данные и лучшие практики, подкрепляющие наши рекомендации. В статье обсуждается интеграция этих систем в комплексной стратегии информационной безопасности и приведены советы по максимизации защиты данных в современном цифровом мире.

Данная статья представляет ценное руководство для организаций, стремящихся к поддержанию информационной безопасности на высшем уровне и эффективной защите конфиденциальной информации от постоянно меняющихся киберугроз.

Ключевые слова: IDS, брандмауэры, аудит информационной безопасности, сети, киберугроза.

Ю. Р. КРАХМАЛЕВА, Ә. Т. ЖАҚАШ*, Ш. Қ. ЕГЕМБЕРДІ

М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті,

Тараз, Қазақстан

yuna_kr@mail.ru;zhakash58@mail.ru;shinar.egemberdi@mail.ru

СУАРУ ЖҮЙЕЛЕРІНДЕГІ СУДЫ ПАЙДАЛАНУДЫ ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ ЖЕДЕЛ БАСҚАРУ АЛГОРИТМІН ҚҰРУ

Мақалада суару жүйелерінде суды пайдалануды және жедел басқару үшін имитациялық-оңтайландыру математикалық моделін әзірлеу жолдары қарастырылған. Қазіргі таңда ауыл шаруашылығында дәнді –дақылдарды өсіру мақсатында жерді тиімді суару басты мәселе болып табылады. Ол үшін жерді суару жүйесін таңдап алу өте маңызды. [1] Сонымен қатар, суару жүйесінің тиімді әрі ысырапсыз болуы бірінші кезектегі міндет болып табылады. Сондықтан, негізгі бағыт ретінде су ресурстарын дұрыс пайдалану, суармалы жердің сапасы мен математикалық модельдеу жолдарын пайдаланып, технологиялық құбылыстар мен процестерді басқаратын компьютерлік технологияларды іске асыратын бағдарламалар жоспарлап, дайындау қарастырылды. Нәтижесінде суару жүйелерінде су пайдалануды жоспарлау және жедел басқару үшін DELPHI тілінде имитациялық-оңтайландыру математикалық моделін әзірлеу ұсынылды. Ол үшін нысан ретінде Тасөткел магистральдық каналы (ТМК) таңдалды. [2]Бағдарламаның жұмыс істеуінің жалпы алгоритмі құрылып, математикалық есептеулер мен шаруашылықишілік суару желісі арналарының ПӘЖ мәндері есептеліп, кестеге әр түрлі дақылдардың үлес саны пайызбен есептеліп, зерттелді. Ылғал зарядтайтын суаруды есепке ала отырып, суару нормасын кестедегі мәліметтерді пайдаланып, әр айдың бірінші онкүндігіндегі үлес саны мен су жинау мөлшерін есептеу арнайы формула арқылы есептелді.

***Түйін сөздер:** су жүйелері, суару нормасы, деректерді енгізу, ылғалданған суару.*

Кіріспе.Бүгінгі таңда ауыл шаруашылығы дақылдарын қолданыстағы суару жүйелерімен суару өзекті мәселе болып табылады. Бұл судың көп жоғалуын, табиғи су көздерінің ластануын, суды пайдалану және су бөлу процестерін сапалы басқарудың жоқтығын, оларды пайдалану тиімділігі төмен болған кезде энергетикалық және материалдық-техникалық ресурстардың шығындарын жатқызуға болатын осы процеске ілесіп жүретін бірқатар себептермен байланысты болып табылады.

Суару жүйелерінің тиімділігін арттыруға және әдетте технологиялық ысыраптарды азайтуға бағытталған іс-шаралар кешенін әзірлеу осы мәселені шешудегі бірінші кезектегі міндеттердің бірі ретінде қарастырылады. Су ресурстарын оңтайлы пайдалануды, қабылданатын басқару шешімдерінің жоғары сапасы мен жеделдігін, суармалы жерлердің жақсы мелиорациялық жай-күйін қамтамасыз ететін есептеу техникасын дамытудың қазіргі деңгейін, математикалық модельдеу әдістерін, технологиялық процестерді басқарудың компьютерлік технологияларын ескере отырып, суару жүйелерінде су пайдалану процестерін жоспарлау мен іске асырудың жаңа әдіснамаларын ғылыми негіздеу және әзірлеу маңызды бағыт болып табылады.

* E-mail корреспондирующего автора: zhakash58@mail.ru

Суару жүйелерінде су пайдалануды жоспарлау және жедел басқару үшін DELPHI тілінде имитациялық-оптайландыру математикалық моделін әзірлеу ұсынылады.

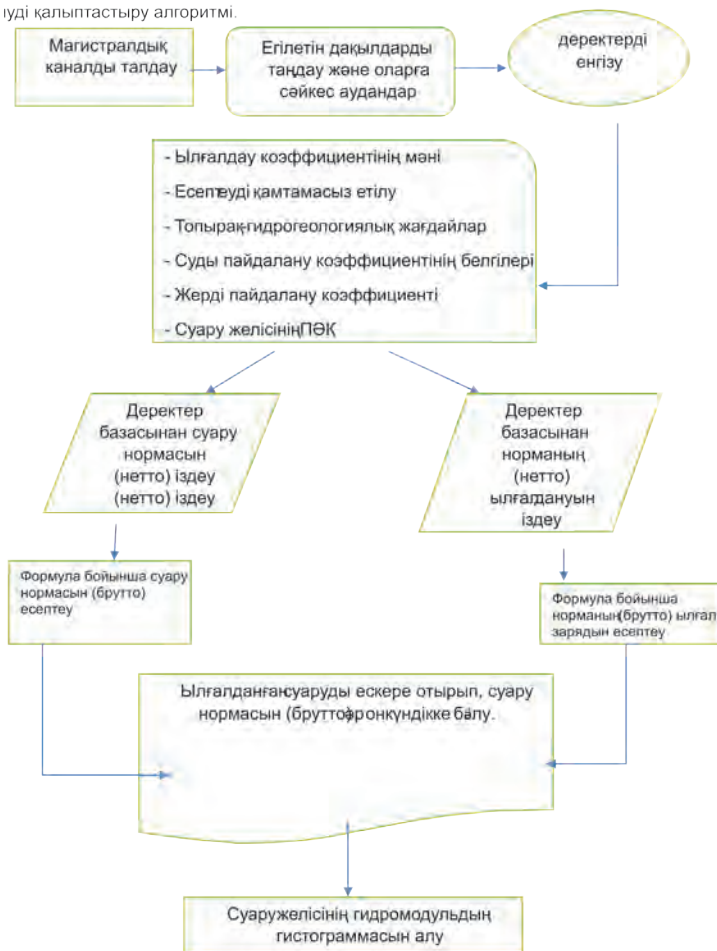
Зерттелетін пилоттық нысан ретінде Тасөткел магистральдық каналы (ТМК) таңдалды. ТМК жұмыс режимінің ерекшелігі тірек учаскелерінің болуы болып табылады, соның салдарынан канал учаскелерінің толып кетуі мен өсуі мүмкін емес.

Бағдарламаның жұмыс істеуінің жалпы алгоритмі 1-суретте бейнеленген, оны қалыптастырудың бірінші кезеңі магистральдық канал атауын таңдау, өсімдіктерді таңдау және су пайдалануды жоспарлау процесінде пайдаланылатын шартты-тұрақты ақпаратқа жатқызуға болатын бастапқы деректерді енгізу болып табылады: шаруашылық ішілік суару желісі арналарының ПӘК мәндері, топырақ-гидрогеологиялық жағдайлар және басқалар.

Соңында ылғал қуаттайтын суаруды ескере отырып, суару нормасын (брутто) екі бөлек бөлігін боламыз.

Ылғал зарядтайтын суаруды есепке ала отырып, суару нормасын (брутто) онкүндік бойынша бөлуді қалыптастыру алгоритмі.

уді қалыптастыру алгоритмі.



Сурет 1

«Ауыл шаруашылығы дақылдарының суару нормаларын табиғи аймақтар бойынша жыл ішіндегі бөлу» деп аталатын базадан жоғарыда келтірілген алгоритмге сәйкес 1-кесте толтырылды. [3] Ұсыныстарға сәйкес ауыл шаруашылығы дақылдарының суару нормаларын маусымішілік бөлу% -бен есептелді.

1-кесте – Суару нормаларын маусымішілік бөлу ұсынымдарға сәйкес ауыл шаруашылығы дақылдары% -бен

мәдениет	қатысу үлесі	Сәуір			Мамыр			Маусым			Шілде			Тамыз				Қыркүйек				Қазан		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	13	2	3	1	2	3	1	2	3		
Соя	0,3			4	6	7	8	10	11	12	11	10	8	6	4	3								
Қант қызылшасы	0,15			3	4	4	6	7	9	10	8	10	9	7	6	6	4	3	2	2				
Көп жылдық шөптер	0,1		3	4	4	6	6	6	6	7	8	7	7	7	6	6	5	5	4	3				
Дәнді жүгері	0,25			3	5	6	7	6	5	6	7	9	9	9	9	7	6	4	2					
Көкөністер	0,2	2	3	3	4	5	5	7	9	9	9	9	8	7	7	6	3	2	2					

Келесі қадам «Вегетациялық кезеңде әртүрлі қамтамасыз етілген жылдар мен әртүрлі топырақ-гидрогеологиялық аймақтар үшін ауыл шаруашылығы дақылдарының нетто-суару нормаларының мәндері» деп аталатын базадан 3-бағанның мәні - «Суландыру нормасы (нетто)» -2-кестеде пайдаланылады.[4].

2-кесте – Суару желісіндегі алаңдағы судың сөзсіз ысырабын ескере отырып, келесі кестені құрамыз.

Мәдениет	Қатысу үлесі	Суару нормасы (нетто)	Суару нормасы (брутто)	Ылғал зарядтау нормасы (нетто)	Ылғал зарядтау нормасы (брутто)	Жиынтық су тұтыну
Соя	0,3	6550,0	7510,7	0	0,0	7510,7
Қант қызылшасы	0,15	9650,0	11065,3	1100	1261,3	12326,7
Көп жылдық шөптер	0,1	10450,0	11982,7	1100	1261,3	13244,0
Дәнге жүгері	0,25	7200,0	8256,0	1100	1261,3	9517,3
Көкөністер	0,2	8800,0	10090,7	1100	1261,3	11352,0
Егістіктегі норма, м ³	8017,5	9193,4	770,0	882,9	10076,3	

4-бағанның мәнін – «Суландыру нормасы (брутто)» мына формула бойынша аламыз:

$$M_{\text{су.брутто}} = \frac{M_{\text{су.нетто}} \cdot K_{\text{жк}}}{K_{\text{ск}}}$$

мұндағы $M_{су.брутто}$ - суландыру нормасы (нетто); жерді пайдалану $K_{жк}$ - жерді пайдалану коэффициенті; $K_{ск}$ – суды пайдалану коэффициенті;

5 –ші бағандағы мәндер – «Ылғал зарядтау нормасы (нетто)» деп аталатын базадан алынады. «Табиғи аймақтар бойынша вегетация аралық суару брутто суландыру нормаларының мәні». «Ылғалданудың нормасы (брутто)» деген 6-бағанның мәндерін есептеу мына формула бойынша есептеледі:

$$\frac{M_{ыл.брутто} \cdot 45}{100} + \frac{k \cdot M_{ыл.брутто}}{100}$$

мұндағы k –1-кестедегі 1 ұяшықтағы мән болып табылады. [5]

Сәуір айының екінші онкүндік бойынша есептеу келесі формула арқылы есептелінеді:

$$\frac{M_{ыл.брутто} \cdot 15}{100} + \frac{k \cdot M_{су.брутто}}{100}$$

мұндағы k – 1-кестедегі 1 ұяшықтағы мән болып табылады.

Сәуір айның соңғы онкүндігінен қыркүйек айына дейінгі есептеу келесі формула арқылы есептелінеді:

$$\frac{k \cdot M_{су.брутто}}{100}$$

Тек қазан айының бірінші онкүндігі келесі формула арқылы есептелінеді:

$$\frac{M_{ыл.брутто} \cdot 40}{100} + \frac{k \cdot M_{су.брутто}}{100}$$

3-кесте – Өрістегі онкүндік норма (мысалы, бірінші баған) қызыл және жасыл түстерді көбейту арқылы қорытынды сомада алынады.

3-кестенің басталуы

Мәдениет	Қатысу үлесі	Сәуір			Мамыр		
		1	2	3	1	2	3
Соя	0,3	0,0	0,0	300,4	450,6	525,7	600,9
Қант қызылшасы	0,15	567,6	189,2	332,0	442,6	442,6	663,9
Көп жылдық шөптер	0,1	567,6	548,7	479,3	479,3	719,0	719,0
Дәнге жүгері	0,25	567,6	189,2	247,7	412,8	495,4	577,9
Көкөністер	0,2	769,4	491,9	302,7	403,6	504,5	504,5
Егістіктегі норма, м ³ /га		437,7	228,9	310,3	433,4	520,8	597,1
Егістіктегі айлық норм, м ³ /га		976,9			1551,3		

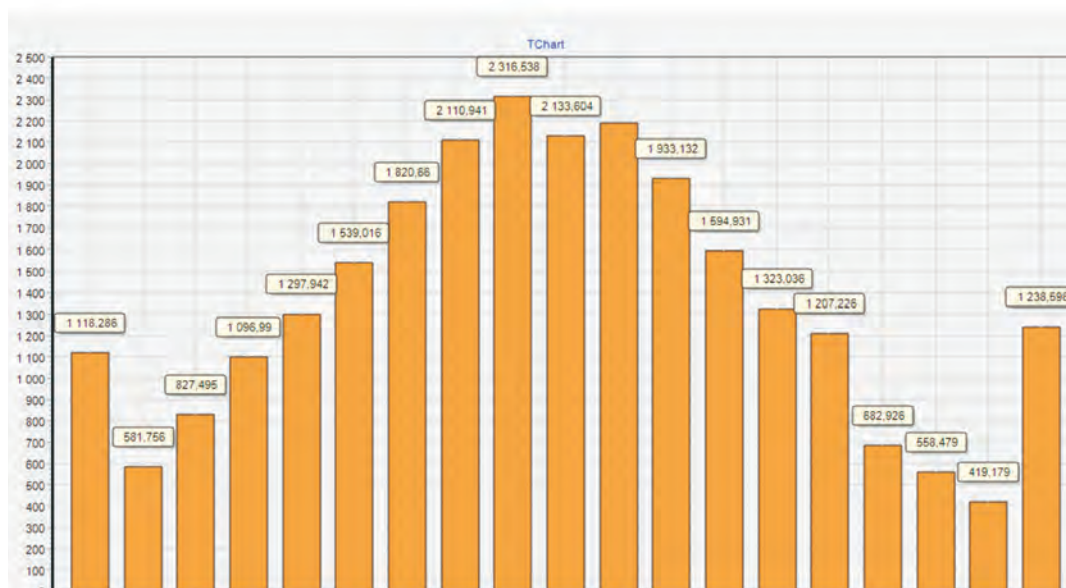
3-кестенің аяқталуы

Маусым			Тамыз			Қыркүйек			Қазан		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
751,1	826,2	901,3	450,6	300,4	225,3				0,0		
774,6	995,9	1106,5	774,6	663,9	663,9	442,6	332,0	221,3	725,8		
719,0	719,0	838,8	838,8	719,0	719,0	599,1	599,1	479,3	864,0		
495,4	412,8	495,4	743,0	743,0	577,9	495,4	330,2	165,1	504,5		
706,3	908,2	908,2	706,3	706,3	605,4	302,7	201,8	201,8	504,5		
678,5	754,0	825,7	662,3	588,6	504,6	310,7	232,6	162,8	422,3		
2258,2						706,1			422,3		

Су жинау мөлшерін есептеу мынадай формула бойынша жүргізіледі:

$$\eta_{cy} = 0,65 \frac{\text{онкундік норма}}{\text{суландыру жүйесі}}$$

Суару желісінің гидромодульдың гистограммасын алу үшін «DELPHI» жүйесінде бағдарламалау түзілді. Оның кейбір нәтижелері төмендегі суретте көрсетілген:



Сурет 2

Енді код жазылған бөлімдерге аздап тоқталайық. Мысалы, кодтың келесі үзігі терезедегі формаларды бастапқы деректермен толтыруға мүмкіндік береді.

DELPHI CODE

```

stringgrid1.Cells[0,0]:='Арнаның атауы және оның тармақтары'
stringgrid1.Cells[0,1]:=' Белгілеу номенклатурасы';
stringgrid1.Cells[0,2]:='Пайдалануға берілген жылы';
stringgrid1.Cells[0,3]:='Су көздері';
stringgrid1.Cells[0,4]:='Өткізу қабілеті, м3/с';
stringgrid1.Cells[0,5]:=' Барлығы ұзындығы, км';
stringgrid1.Cells[0,6]:='Жер, км';
stringgrid1.Cells[0,7]:=' Қапталған, км';
stringgrid1.Cells[0,8]:=' Тозу пайызы %';
zcolorstringgrid2.Cells[1,2]:='ТБХ-1';
zcolorstringgrid2.Cells[1,4]:='ТБХ-2';
zcolorstringgrid2.Cells[1,6]:='ТБХ-3';
zcolorstringgrid2.Cells[1,8]:='Труба -1';
zcolorstringgrid2.Cells[1,10]:='Труба -2';
zcolorstringgrid2.Cells[1,12]:='Ынтыалы';
zcolorstringgrid2.Cells[1,14]:='ТНХ-1а';
zcolorstringgrid2.Cells[1,16]:='Труба-2';
zcolorstringgrid2.Cells[1,18]:='Тоғанбай';
zcolorstringgrid2.Cells[1,20]:='ТНХ-1б';

```

Төменде ауыл шаруашылығы дақылдарының айлары бойынша суды бөлу коды келтірілген

DELPHICODE

```

zcolorstringgrid1.Cells[6,3]:=floattostr(m*7/100);
zcolorstringgrid1.Cells[7,3]:=floattostr(m*16/100);
zcolorstringgrid1.Cells[8,3]:=floattostr(m*20/100);
zcolorstringgrid1.Cells[9,3]:=floattostr(m*24/100);
zcolorstringgrid1.Cells[10,3]:=floattostr(m*19/100);
zcolorstringgrid1.Cells[11,3]:=floattostr(m*12/100);
zcolorstringgrid1.Cells[12,3]:=floattostr(m*2/100);

```

Ал келесі код интернет сайтымен байланысқа жауап береді
DELPHICODE

```

WebBrowser2.Navigate('https://sites.google.com/d/1nxFO13qQMeHK1VMO8Mpcv_oi0cDYB-8u/p/1tkzm2iWi5So8PTLubqX28MPLuzWo1kx5/edit');

```

Кестені құруға мүмкіндік беретін код.
DELPHICODE

```

t1:=timer1.Interval;
v:=t1*strtofloat(edit7.Text)*sqrt(2*9.8)/2;
series2.AddXY(t1,v);
end; }

```


Пайыздық қысқартуды орындайтын код
DELPHI CODE

```
if RadioGroup1.ItemIndex=1 then
begin
for j:=8 to 21 do
for I := 2 to 57 do
begin
try
zcolorstringgrid2.Cells[j,i]:=floattostr(strtfloat(zcolorstringgrid2.Cells[j,i])-
strtfloat(zcolorstringgrid2.Cells[j,i])*Strtfloat(edit3.Text)/100);
except //on E: Exception do
zcolorstringgrid2.Cells[j,i]:"";
end;
end;
```

Қорытынды. Жүргізілген ақпараттық-талдамалық талдау нәтижелері бойынша Тасөткел магистральдық каналының 1975 жылдан 2022 жылға дейінгі кезеңдегі суару жүйелері қызметінің негізгі көрсеткіштері бойынша ақпараттық деректер базасы құрылды, оның негізінде суару жүйелерінің техникалық деңгейіне кешенді баға берілді. Жүйелік талдау, математикалық және имитациялық модельдеу әдісін пайдалана отырып және ауыл шаруашылығы дақылдарын суаруды жедел басқарудың ұсынылған жаңа модельдерін және екі деңгейлі өнімді ескере отырып, суару жүйесін күрделі ақпараттық табиғи-техникалық басқару объектісі ретінде қарау негізінде суландыру жүйелерінде су пайдаланудың технологиялық процестерін басқарудың базалық кешенді функционалдық құрылымы алғаш рет теориялық негізделген және әзірленген.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Ольгоренко В.И., Эксплуатация и мониторинг мелеоративных систем/ В.И. Ольгаренко, Г.В. Ольгоренко, В.Н. Рыбкин. Учебник для ВУЗов, Коломна, ООО «Инлайт», 2006. – 396с.
- 2 Ольгаренко В.И. Мнтодология функционирования экологически сбалансированных оросительных систем// Труды КубГАУ, Краснодар, №6(27), 2010. – С181-182
- 3 Методические указания по разработке правил использования водохранилищ (приказ МПР РФ от 26 января 2011 года N17)
- 4 Асарин А.Е., Бестужева К.Н. Водноэнергетические расчеты. – М.: энергоатомиздат, 1986.– 224 с.
- 5 Раткович Л.Д. Методология обосновывающих водохозяйственных расчетов.// Мелеорация и водное хозяйство. 2007.– №6-С.32-35.
- 6 Калиткин, Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – СПб.: BHV, 2014. – 592 с.
- 7 Фаронов В.В. Delphi 5. Учебный курс[Текст]/ В.В. Фаронов. – М.: Нолидж, 2001.– 608 с.

REFERENCES

- 1 Olgorenko V.I., Eksplutaciya i monitoring mелеorativnyh sistem/ V.I. Olgarenko, G.V. Olgorenko, V.N. Rybkin. Uchebnik dlya VUZov, Kolomna, ООО «Inlajt», 2006. – 396s.

2 Olgarenko V.I. Metodologiya funkcionirovaniya ekologicheskii sbalansirovannykh orositelnykh sistem // Trudy KubGAU, Krasnodar, №6(27), 2010. – С181-182

3 Metodicheskie ukazaniya po razrabotke pravil ispolzovaniya vodohranilish (prikaz MPR RF ot 26 yanvarya 2011 goda N17)

4 Asarin A.E., Bestuzheva K.N. Vodnoenergeticheskie raschety. – М.: energoatomizdat, 1986.– 224 s.

5 Ratkovich L.D. Metodologiya obosnovyvyayushih vodohozyajstvennykh raschetov. // Meleoraciya i vodnoe hozyajstvo. 2007.– №6-S.32-35.

6 Kalitkin, N.N. Chislennyye metody / N.N. Kalitkin. – SPb.: BHV, 2014. – 592 с.

7 Faronov V.V. Delphi 5. Uchebnyj kurs [Tekst] / V.V. Faronov. – М.: Nolidzh, 2001.– 608 s.

Ю. Р. КРАХМАЛЕВА, А. Т. ЖАКАШ, Ш. К. ЕГЕМБЕРДИ

*Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати,
г.Тараз, Казахстан*

СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА ПЛАНИРОВАНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВОДОЙ В ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

В статье предусмотрены пути разработки имитационно-оптимизационной математической модели для оперативного управления и использования воды в оросительных системах. В настоящее время основным вопросом в сельском хозяйстве является эффективное орошение земель с целью выращивания зерновых культур. Для этого очень важно выбрать систему орошения. В то же время первоочередной задачей является эффективная и безупречная система орошения. Поэтому в качестве основного направления рассматривалось планирование и разработка программ, реализующих компьютерные технологии управления технологическими явлениями и процессами, используя правильное использование водных ресурсов, качество орошаемых земель и пути математического моделирования.

В результате было предложено разработать имитационно-оптимизационную математическую модель на языке DELPHI для планирования и оперативного управления водопользованием в оросительных системах. Объектом для этого был выбран магистральный канал Тасоткель (ТМК). Был создан общий алгоритм функционирования программы, рассчитаны математические вычисления и значения ПАК каналов внутрихозяйственных оросительных сетей, в таблице учтено и исследовано удельное количество различных культур в процентах. Расчет удельного количества и размера водозабора в первой декаде каждого месяца с использованием данных таблицы нормы орошения с учетом влагозарядного орошения рассчитывался по специальной формуле.

Ключевые слова: водные системы, нормы орошения, ввод данных, увлажнение.

YU. R. KRAKHMALOVA, A. T. ZHAKASH, SH. K. YEGEMBERDI

Taraz Regional University named after M.H. Dulati, Taraz, Kazakhstan

CREATION OF WATER USE AND CONTROL PLANNING ALGORITHM IN IRRIGATION SYSTEMS

The article provides ways to develop an imitation-optimization mathematical model for operational control and use of water in irrigation systems. Currently, the main issue in agriculture is effective irrigation

of land for the purpose of growing grain crops. For this, it is very important to choose an irrigation system. At the same time, an efficient and flawless irrigation system is a top priority. Therefore, the planning and development of programs implementing computer technologies for managing technological phenomena and processes, using the correct use of water resources, the quality of irrigated land and ways of mathematical modeling, was considered as the main direction.

As a result, it was proposed to develop a simulation-optimization mathematical model in the DELPHI language for planning and operational management of water use in irrigation systems. The Tasotkel Trunk Channel (TMK) was chosen as the object for this. A general algorithm for the operation of the program was created, mathematical calculations and PAK values of channels of internal irrigation networks were calculated, the specific number of different crops in percent was taken into account and studied in the table. The calculation of the specific quantity and size of the water intake in the first decade of each month using the data from the irrigation rate table, taking into account water-charge irrigation, was calculated using a special formula. **Keywords:** water systems, irrigation standards, data entry, humidification.

Key words: water systems, irrigation standards, data entry, humidification.

A. KEREYEV^{1*}, *A. RAMANKULOV*², *B.UMIRZAKOVA*¹,
*A. ZHAILYBAYEVA*¹, *A. RYSDAULETOVA*¹

¹*Aktobe Regional University named after K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan;*

²*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

THE USE OF THE STEERING BEHAVIOURS METHOD IN ROBOT MOTION CONTROL

Potential applications for autonomous navigation of mobile robots include automatic driving, guiding the blind and disabled, exploring dangerous regions, transporting objects in factories or offices, collecting geographic information in unknown territories, such as unmanned exploration of a new planetary surface, etc.

Navigation strategies of mobile robots can be broadly divided into two categories: global trajectory planning and reactive navigation. In the first approach, a collision-free trajectory is designed to guide the robot to a given target through a known environment. But, the real world environment is subject to change over time. Thus, it is expected that an autonomous robot may encounter uncertain environmental situations, and reactive navigation capabilities are required. Especially during the initial exploration of an unknown environment to create a preliminary map of the environment, which can later be used to optimize the path. An autonomous robot must react to the surrounding situation in its immediate vicinity in such a way as to achieve the goal without colliding with obstacles.

This article discusses the application of the Steering Behaviours method in simulating natural robot movement. In modern computer graphics and animation, the concept of Steering Behaviours refers to a set of algorithms and methods used to create controlled behaviour for virtual objects. These algorithms allow for modelling various types of behaviour, such as flocking, obstacle avoidance, object following, and more. These behaviours allow virtual objects to exhibit intelligent and realistic movement in virtual environments.

In an attempt to simulate the process of avoiding obstacles when moving, a combination of basic reflex actions and higher-level logical decisions is implemented. It is shown that for reflexive navigation of autonomous mobile robots, the ability to reflexively avoid obstacles on only one side (left or right) is sufficient to avoid obstacles on both sides. The use of such a behavior model provides the basis for a compact representation of reflex behavior.

The goal is to first explore all the individual behaviors, moving from the truly simple to the more complex, and eventually combine and apply them to control robot motion.

Key words: *robot motion, robot control, steering behaviours method, intelligent control*

Introduction. The main idea behind Steering Behaviours is to create controllable objects that can react to their environment as well as user actions. This is achieved by applying a set of algorithms based on principles of physics and mathematics that allow for modelling various types of behaviour.

One of the earliest and most well-known approaches to Steering Behaviours was proposed by Craig Reynolds in his paper “Steering Behaviours for Autonomous Characters” [1] in 1999. In this work, Reynolds introduced a set of simple algorithms that can be used to create controllable behaviours, such as following, flocking, evading, and more. Reynolds also suggested modelling the behaviour of virtual objects based on the principles observed in animal behaviour, such as birds and fish.

* E-mail корреспондирующего автора: adiljan@mail.ru

Indeed, Steering Behaviours have found wide application in various fields, including computer games, virtual reality, robotics, and animation. They have also become an important component in research on animal and bird behaviour.

Methods. Within steering behaviours, several main types of control behaviors are distinguished, each corresponding to a specific task:

Seek behaviour: the agent moves towards a target located at a certain distance from it.

The Flee behaviour involves an agent moving away from a threat that is at a certain distance from it.

The formula for calculating the direction of movement is the same for the Flee behaviour as it is for the Seek behaviour, but with the inverse sign for the steering vector:

– the Collision Avoidance behaviour involves an agent avoiding collisions with other objects that are in its path.

– the Wander behaviour involves an agent moving in a random direction within a specified area. The formula for calculating the steering in this case also depends on the specific implementation.

– the Pursuit behaviour involves an agent moving towards a target that is also moving at a known speed.

In addition, within the framework of steering behaviours, additional rules are also used, such as speed and acceleration limits, direction control, and so on. These rules allow for obtaining more realistic and smooth movement of agents.

Since then, numerous other approaches to Steering Behaviours have been developed, including more complex algorithms based on artificial neural networks and genetic algorithms. Some of these approaches are presented in the works of K.V. Reddy's "Steering Behaviours for Autonomous Navigation" [2] and L.K. Erman's "Autonomous Steering Behaviours for Interactive Virtual Creatures" [3].

For instance, in one study published in the journal "Nature" [4], researchers utilized steering behaviours to study the behaviour of bird flocks. The study demonstrated that the behaviour of bird flocks can be explained by just a few simple rules, such as alignment and separation. By employing these rules in modelling using steering behaviours, the researchers were able to successfully replicate the behaviour of bird flocks in a realistic simulation.

In another study [5], published in the journal "Animal Behaviour," researchers utilized steering behaviours to study the migratory behaviour of sea turtles. By using various aspects of steering behaviours, such as target following and obstacle avoidance, the researchers created models of the migratory behaviour of sea turtles, which were successfully tested in the real world.

Indeed, Steering Behaviours are also used in studies of fish behaviour. In one study [6], published in the "Journal of Fish Biology," researchers employed steering behaviours to investigate the behaviour of fish in complex environments such as reefs and seagrass beds. By using these models, researchers can examine how changes in the environment impact fish behaviour and how they can adapt to new conditions.

Results. Pursuit Rule-based Imitation (PRBI) is a method in machine vision and robotics [7] that utilizes the principles of pursuit rule to create autonomous agents capable of imitating human movements and actions. It represents a comprehensive approach to modelling human behaviour and controlling robots in various scenarios.

The idea behind PRBI is that the movement of an object pursuing another object can be represented as a combination of the velocity vectors of the pursuer and the target object. The angle between these vectors determines the direction of the pursuer's movement.

The main idea of the method is that the movement of the pursuer can be represented as a combination of the velocity vectors of the pursuer and the pursued object. Thus, the velocity vector of the pursuer changes according to the velocity vector of the pursued object. The angle between the velocity vectors determines the direction of the pursuer's movement.

The formula for calculating the velocity vector of the pursuer in PRBI is as follows:

$$V_p = V_{max} (V_t / \|V_t\| + k(P_t - P_p) / \|P_t - P_p\|) \quad (1)$$

where V_p – the velocity vector of the pursuer,

V_{max} – maximum speed of the pursuer,

V_t – the velocity vector of the pursued object,

$\|V_t\|$ – the magnitude of the velocity vector of the pursued object,

k – proportionality coefficient for controlling the scale of the pursuer's speed.

P_t – the position of the pursued object.

P_p – position of the pursuer.

This method is widely used in computer graphics and robotics, including obstacle avoidance and object tracking tasks. PRBI is also applied in scientific research studying the behaviour of animals, such as insects and fish, in their natural environment.

To create autonomous agents capable of replicating human movements, PRBI utilizes data from known human movements recorded in videos to train a motion model and control robots in real-time. During the training process, the model aims to minimize the difference between its own movement and the human movement represented in the video.

PRBI can be applied in various fields such as robotics, gaming industry, medicine, and technical design. For example, in robotics, PRBI can be used to create autonomous robots capable of replicating human movements and actions. In medicine, it can be used to develop systems that facilitate the rehabilitation of patients after a stroke. In the gaming industry, PRBI can be used to create realistic characters and scenes.

One of the main aspects of Steering behaviour is simulating obstacle avoidance. This is achieved using the "Avoidance" rule, which involves changing the object's direction of movement if it is too close to another object to avoid collision. To determine this, the vector from the object to the obstacle is calculated, and then the object's current direction of movement is rotated by a certain angle relative to this vector. The angle depends on the distance to the obstacle and is set using a function that provides a smooth transition from obstacle avoidance to straight-line movement when the object is far enough from the obstacle.

Formula for calculating the new direction of movement for an object based on the distance to the obstacle can be written as follows:

$$new_{direction} = direction + avoidance_{strength} * avoidance_vector \quad (2)$$

where $direction$ – the current direction of movement of an object

$avoidance_strength$ – the coefficient that determines the magnitude of the avoidance angle

$avoidance_vector$ – the vector that points from the object to the obstacle.

One example of applying the Steering behaviour method using the avoidance rule is a robot capable of moving around a room and avoiding obstacles in its path. In this case, the avoidance rule allows the robot to avoid collisions with other objects and move safely around the room [9].

The Steering behaviour method with the avoidance rule is an effective way to simulate natural behaviour of objects in a system, allowing them to avoid collisions with other objects and move safely in their environment. This method has found wide application in various fields, including robotics, computer games, and virtual reality.

The Steering behaviours method with the dispersion rule is one example of simulating natural behaviour in robotics and computer animation. It is used to describe the movement of objects that strive to evenly distribute themselves in space.

The main idea of the method is to create a dispersion effect of objects within a given area where they should be located. To achieve this, each object determines a direction vector pointing towards the central point of the area. Then, each object adds a random vector to its current velocity vector, which is directed in a random direction [10]. As a result, objects start moving in random directions, leading to a more uniform distribution of objects within the designated area.

Mathematically, the dispersion rule can be represented as follows:

$$steer = randomVector() * weight \quad (3)$$

where $randomVector()$ – random vector,
 $weight$ – weight of a random vector.

An example of the application of the dispersion rule in robotics is a system used for robot distribution on a production line. In this case, the robots need to be evenly distributed along the line to avoid collisions and ensure efficient operation. To achieve this, each robot uses the dispersion rule to distribute its position along the line.

Additionally, the dispersion rule can be used to create realistic effects in computer animation, such as simulating the distribution of celestial objects in a galaxy.

Thus, the Steering Behaviours method with the dispersion rule is an effective tool for creating realistic and controllable movements of objects in various fields, including robotics and computer animation.

The Accumulative Imitation Rule (AIR) method is an algorithm used for solving optimization problems, based on the principle of evolutionary imitation in nature. In this method, each potential decision-maker (individual) has its own genome, which represents a set of parameters that can be tuned.

The idea of the method [11] is to create a population of decision-makers, each of which is randomly tuned based on a genetic algorithm, and then evaluate the effectiveness of everyone in solving the optimization problem. Then, the best decision-makers are selected to create a new population of decision-makers.

The accumulation rule involves each new individual inheriting genetic characteristics from the best decision-makers of the previous population, and these characteristics are added to its genome. This allows for the preservation of the best genetic traits and leads to a gradual improvement of the population of decision-makers.

When using the AIR method in robotics, the best decision-makers can be selected based on the effectiveness of their behavior during task execution, such as robot movement towards a target point. Then, these best decision-makers can be used to create new decision-makers whose genome will contain both the best characteristics of the best decision-makers from the previous population and randomly generated parameters.

An example of applying the formulas of the AIR method in robotics could be as follows: let's say a robot needs to learn how to deliver pizza to offices in different parts of the city. To achieve this, we can use the AIR method to train the robot to perform new tasks based on the genetic characteristics of the best decision-makers from the previous population. For example, at each iteration of the algorithm, we can select several best decision-makers from the previous population who can efficiently deliver pizza to different parts of the city and use their genetic characteristics to create a new robot.

Thus, the new robot will have the best genetic characteristics that will allow it to efficiently deliver pizza to offices in different parts of the city, even if it has not been specifically trained for this task.

The formula of the AIR method can be used to calculate the genetic characteristics of the new robot:

$$x_{i'} = x_i + \delta * \sum_{j=1}^k w_j (x_j - x_i) \quad (4)$$

where x_i – genetic characteristics of robot i in the previous population,

$x_{i'}$ – the genetic characteristics of the new robot i in the current population,

δ – The coefficient that determines how strongly the new robot will depend on the genetic characteristics of the best performers.

w_j – The weight coefficient that determines how strongly the genetic characteristics of solver j affect the genetic characteristics of the new robot i .

The imitation method based on the clustering rule can help robots achieve optimal performance in task execution by efficiently tuning their control parameters.

The Imitation based on Divide and Conquer Rule method is a method [12] used for training robots to perform tasks that can be divided into smaller subtasks. This method is based on the principle of dividing the learning task into several simpler ones, performing each of them separately, and then combining the results to obtain the complete solution.

Mathematical formulas of the imitation method based on the divide and conquer rule can be described as follows:

Let T denote the training dataset, and let X and Y be the sets of input and output variables, respectively.

By dividing the training dataset T into several subsets T_1, T_2, \dots, T_n , such that each subset T_j contains only those examples that have the same values for certain input variables X_j .

For each subset T_j , train a model M_j that takes input variables X_j and returns the corresponding values of output variables Y_j .

By combining the models M_1, M_2, \dots, M_n , we obtain the final model M , which takes input variables X and returns the corresponding values of output variables Y .

The imitation method based on the division rule in robotics can be used for:

– for industrial assembly tasks, a robot can be trained to perform individual steps of the process, such as picking up and moving parts, and then combine the results to achieve the complete assembly task.

– for automatic navigation tasks, a robot can be trained for various subtasks, such as path planning, obstacle avoidance, and target search, and then combine the results to achieve the navigation goal.

Conclusions. In conclusion, it can be noted that Steering Behaviours are a powerful tool for creating controlled behaviours in a virtual world. This method can be used to model the movements of real robots.

However, even though Steering Behaviours are a simple set of algorithms, their application can be challenging, especially when dealing with many objects or when using more complex algorithms. Therefore, developers should carefully choose and configure Steering Behaviours algorithms for specific tasks.

REFERENCES

- 1 Reynolds, C. W. (1999). Steering behaviors for autonomous characters. Proceedings of the Game Developers Conference, San Jose, California. Miller Freeman Game Group, San Francisco, California, 763-782. (In English)
- 2 Reddy, K. V. (2008). Steering behaviors for autonomous navigation. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 8(1), 319-327
- 3 Erman, L. K. (2010). Autonomous steering behaviors for interactive virtual creatures. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 21(3-4), 347-357.
- 4 Putman, N. F., Abreu-Grobois, F. A., Broderick, A. C., Cioffi, W. R., & Godley, B. J. (2014). Stepping-stone migration, habitat preference and range size patterns of Atlantic hawksbill turtles. *Animal Behaviour*, 91, 121-129.
- 5 Herbert-Read, J. E., Romanczuk, P., Krause, S., Strömbom, D., Couzin, I. D., & Domenici, P. (2013). Inferring the rules of interaction of shoaling fish. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(9), 3371-3376.
- 6 Strandburg-Peshkin, A., Farine, D. R., Couzin, I. D., & Crofoot, M. C. (2015). Shared decision-making drives collective movement in wild baboons. *Science*, 348(6241), 1358-1361.
- 7 Reynolds, C. W. (1999). Steering behaviors for autonomous characters. Proceedings of the Game Developers Conference.
- 8 Colas, Adèle & van Toll, Wouter & Zibrek, Katja & Hoyet, Ludovic & Olivier, Anne-Hélène & Petre, Julien. (2022). Interaction Fields: Intuitive Sketch-based Steering Behaviors for Crowd Simulation. *Computer Graphics Forum*. 41. 10.1111/cgf.14491.
- 9 Kapadia, Mubbasir & Singh, Shawn & Allen, Brian & Reinman, Glenn & Faloutsos, Petros. (2009). SteerBug: an interactive framework for specifying and detecting steering behaviors. *Computer Animation, Conference Proceedings*. 209-216. 10.1145/1599470.1599497.
- 10 Hassan Ajeil, Fatin & Ibraheem, Ibraheem & Azar, Ahmad Taher & Humaidi, Amjad. (2020). Autonomous navigation and obstacle avoidance of an omnidirectional mobile robot using swarm optimization and sensors deployment. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 17. 172988142092949. 10.1177/1729881420929498.
- 10 Valera, Ángel & Valero, Francisco & Vallés, Marina & Besa, Antonio & Mata, Vicente & Llopis-Albert, Carlos. (2021). Navigation of Autonomous Light Vehicles Using an Optimal Trajectory Planning Algorithm. *Sustainability*. 13. 10.3390/su13031233.

11 Khazae Kuhpar, Mostafa & Sadedel, Majid & Davarpanah, Atoosa. (2021). Behavior-Based Navigation of an Autonomous Hexapod Robot Using a Hybrid Automaton. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 102. 10.1007/s10846-021-01388-0.

12 Wang, Dongliang & Wei, Wu & Yeboah, Yao & Li, Yanjie & Gao, Yong. (2020). A Robust Model Predictive Control Strategy for Trajectory Tracking of Omni-directional Mobile Robots. Journal of Intelligent & Robotic Systems. 98. 10.1007/s10846-019-01083-1.

**А. К. КЕРЕЕВ¹, А. А. РАМАНҚҰЛОВ², Б. Г. УМИРЗАКОВА¹,
А. О. ЖАЙЛЫБАЕВА¹, А. А. РЫСДАУЛЕТОВА¹**

¹Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе қ., Қазақстан;

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан
adiljan@mail.ru

РОБОТТАРДЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН БАСҚАРУДА STEERING BEHAVIORS ӘДІСІН ҚОЛДАНУ

Мобильді роботтардың автономды навигациясының қолдану облысына автоматты жүргізу, загіптар мен мүгедектерге жол көрсету, қауіпті аймақтарды зерттеу, зауыттарда немесе кеңселерде объектілерді тасымалдау, белгісіз аумақтарда географиялық ақпаратты жинау, мысалы, жаңа планеталық бетті ұшқышсыз зерттеу және т.б. жатуы мүмкін.

Мобильді роботтардың навигациялық стратегияларын екі санатқа бөлуге болады: жаһандық траекторияны жоспарлау және реактивті навигация. Бірінші тәсілде соқтығыссыз траектория роботты белгілі орта арқылы берілген нысанаға бағыттауға арналған. Бірақ, шынайы қоршаған орта уақыт өте өзгереді. Осылайша, автономды робот қоршаған ортаның белгісіз жағдайларына кездесуі мүмкін. Осы себепті реактивті навигация мүмкіндіктері қажет. Әсіресе белгісіз ортаны бастапқы барлау кезінде қоршаған ортаның алдын ала картасын жасау үшін, кейінірек жолды оңтайландыру үшін пайдалануға болады. Автономды робот өзінің жақын маңындағы кедергілерге соқтығыспай мақсатқа жетуі тиіс.

Мақалада роботтардың табиғи қозғалысын имитациялауда *Steering Behaviors* әдісін қолдану мәселелері қарастырылады. Қазіргі компьютерлік графика мен анимацияда *Steering Behaviors* («басқару мінез-құлқы») ұғымы виртуалды объектілердің әрекетін басқаруда қолданылатын алгоритмдер мен әдістер жиынтығын білдіреді. Бұл алгоритмдер әртүрлі мінез-құлықтарды модельдеуге мүмкіндік береді, мысалы, топтағы қозғалыс, кедергілерден жалтару, басқа объектілерді ұстану және т.б. Қозғалыс кезінде кедергілерді болдырмау процесін имитациялау әрекетінде негізгі рефлекторлық әрекеттер мен жоғары деңгейдегі логикалық шешімдердің комбинациясы жүзеге асырылады. Автономды мобильді роботтардың рефлексивті навигациясы үшін роботтың кедергіні бір (сол немесе оң) жағынан рефлексивті айналып өтуі кедергіні екі жағынан айналып өтуі жеткілікті екені көрсетіледі. Мұндай мінез-құлық моделін пайдалану рефлекторлық мінез-құлықты шағын түрде ұсынуға негіз болады.

Зерттеу мақсаты – алдымен қарапайымнан күрделіге қарай жылжып, барлық мінез-құлықтарды жеке дара зерттеу және соңында оларды робот қозғалысын басқару үшін біріктіру және қолдану.

Түйін сөздер: робот қозғалысы, роботты басқару, *steering behaviors* әдісі, интеллектуалды басқару

**А. К. КЕРЕЕВ¹, А. А. РАМАНКУЛОВ², Б. Г. УМИРЗАКОВА¹,
А. О. ЖАЙЛЫБАЕВА¹, А. А. РЫСДАУЛЕТОВА¹**

¹ Актюбинский региональный университет им.К.Жубанова, г.Актобе, Казахстан;

²Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан
adiljan@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДА STEERING BEHAVIORS В УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЯМИ РОБОТОВ

Потенциальные области применения автономной навигации мобильных роботов включают автоматическое вождение, ориентирование слепых и инвалидов, исследование опасных регионов, транспортировку объектов на фабриках или в офисах, сбор географической информации на неизвестных территориях, например, беспилотное исследование новой поверхности планеты и т.д.

Навигационные стратегии мобильных роботов можно в общих чертах разделить на две категории: глобальное планирование траектории и реактивная навигация. В первом подходе траектория без столкновений предназначена для направления робота к заданной цели через известную среду. Но среда реального мира подвержена изменениям с течением времени. Таким образом, ожидается, что автономный робот может столкнуться с неопределенными ситуациями окружающей среды, и возможности реактивной навигации необходимы. Особенно во время первоначального исследования неизвестной среды для создания предварительной карты окружающей среды, которая впоследствии может быть использована для оптимизации пути. Автономный робот должен реагировать на окружающую ситуацию в непосредственной близости от него таким образом, чтобы достичь цели без столкновения с препятствиями.

В статье рассматриваются вопросы применения метода *Steering Behaviors* в имитации естественного движения роботов. В современной компьютерной графике и анимации понятие *Steering Behaviors* («поведение управления») относится к набору алгоритмов и методов, используемых для создания управляемого поведения виртуальных объектов. Эти алгоритмы позволяют моделировать различные виды поведения, такие как движение в стае, уклонение от препятствий, следование за другими объектами и т.д. В попытке имитировать процесс обхода препятствий при передвижении, реализована комбинация базовых рефлекторных действий и логических решений более высокого уровня. Показано, что для рефлексивной навигации автономных мобильных роботов способности рефлексивно избегать препятствий только с одной стороны (слева или справа) достаточно для обхода препятствий с обеих сторон. Использование такой модели поведения обеспечивает основу для компактного представления рефлекторного поведения.

Цель состоит в том, чтобы сначала исследовать все отдельные модели поведения, переходя от действительно простых к более сложным, и в конечном итоге объединить и применить их в управлении движениями роботов.

Ключевые слова: движение робота, управление роботом, метод *steering behaviours*, интеллектуальное управление.

Е. МАХМУТ*, Т. С. ИМАНКУЛОВ, Б. МӘТКЕРІМ

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

МҰНАЙ ЫҒЫСТЫРУ МӘСЕЛЕСІН ШЕШУДЕ ГИБРИДТІ (MPI+CUDA) ПАРАЛЛЕЛЬДІ ПРОГРАММАСЫН ЖОБАЛАУ ЖӘНЕ ҚҰРУ

Бұл зерттеуде паралельді есептеу технологиясын қолданып мұнайды ығыстырудың сандық моделі қарастырылды. Жоғары өнімді есептеу әдісі гибриді (MPI + CUDA, 2 GPU) паралельді есептеу стандарттары пайдаланылды. Зерттеудің негізгі мақсаты MPI арқылы үлестірілген деректерді дербес екі GPU де есептеу процесін жүзеге асыру, сондай-ақ, паралельді алгоритмдердің есептеу уақытына және үдеуіне салыстырмалы талдау жасау болып табылады. Гибриді (MPI + CUDA) паралельді есептеу алгоритмдері құрылды және MPI, CUDA және MPI + CUDA гибриді паралельді бағдарламалары жүзеге асырылып нәтижелеріне талдау жасалынды.

Түйін сөздер: EOR, HPC, CUDA, MPI, гибриді паралелдеу.

Кіріспе. Соңғы онжылдықта мұнайдың жаһандық ашылу көлемінің прогрессивті өсуі байқалды. Бұл негізінен технологияның жетістіктерімен тікелей байланысты болады. Мұнай өндіру стратегиялары әдетте бастапқы сарқылу, екінші реттік және үшінші реттік қайталама алу процестерінен тұрады. Бастапқы әдістерді пайдалану нәтижесінде мұнайдың жалпы қорының шамамен 30% - 40% -на дейін ғана ал алды, ал қалған 60% - 70% -ға дейінгі мұнай бастапқы орнында қалып қоятын. Мұнай қабатына суды айдау әдісі қабат қысымын ұстап тұру үшін және мұнайды ығыстыру процесін тиімдірек орындау үшін маңызды әдістердың бірі [1]. Бұл әдіс қарапайым қосалқы әдіс ретінде көптеген қабат түзілімдерінде кеңінен қолданылады. Бұл әдіс арқылы мұнай өндірісінің 40% -60% қамтамасыз етуге болады.

Екі фазалы сұйықтықтардың араласпай ағу механизмі көптеген мақалаларда жарияланған. Бір өлшемді араласпайтын екі фазалы ағынның ерекше жағдайын 1942 жылы Бакли мен Леверетт [2] теориялық тұрғыдан зерттеді. Бакли-Леверетт моделі бір өлшемді немесе квази-бір өлшемді коллектордағы араласпайтын ығысу процесін сипаттайды және бірнеше қабаттарға бөлінеді.

Қазіргі заманда жоғары өнімді есептеу технологиялары (OpenMP, MPI және CUDA) өнеркәсіптің кез-келген салаларында кеңінен қолданылады, әсіресе мұнай өндіру өнеркәсібінде негізгі тенденцияға айналған. Келесі жұмыс [3] авторлары паралелді бағдарламалау есебінің есептеу уақытын ұсынды. Авторлар бұл жұмыстарында паралелді есептеудің үдеуі мен тиімділігіне талдау жасау арқылы мұнай мәселелерін есептеуде жоғары өнімді есептеу технологияларын қолдану арқылы есептеу уақытының еселеп қысқаруына алып келетініне көз жеткізген.

MPI - хабарлама жіберу кітапхана интерфейсінің спецификациясы [4]. 1994 жылы мамыр айында MPI-дың алғашқы нұсқасы жарияланды. MPI хабарламаны жіберуді бағдарламалау әдісі паралельді бағдарламалаудың кең тараған стандарттарының бірі болып табылады. Бұл стандартта әрбір түйіннің өзінің жеке кеңістігі болады және

* E-mail корреспондирующего автора: erlanmahimut@gmail.com

бұл түйіндер арасындағы байланыс синхронды түрде анық жүзеге асырылады. Әрбір процесте бірлескен операцияларды қолдану арқылы деректерді процестің адресілік кеңістігінен басқа процеске жолдайды. Бір хабарлама бір процестен екінші процеске сәтті жіберіліп және қабылдануы үшін Send және Recv операцияларында тегтері (tag) параметрінің мәні бірдей болуы керек. MPI да хабарлама жіберуді және қабылдауды құруға бағытталған бағдарламалар портативті, тиімді және икемді болуы керек. Сондай-ақ, MPI тіл немесе іске асыру емес, ол спецификация болып табылады. MPI операциялары бағдарламалау тілдері (FORTRAN, C және C++) үшін функциялар, ішкі бағдарлама немесе әдістер ретінде көрсетіледі. MPI-дің бірнеше жүзеге асыру жолдары бар. Атап айтар болсақ, OpenMPI [5] және MPICH [6] сияқты ашық дереккөздер және IBM Spectrum MPI [7] және Intel MPI [8], MS MPI сияқты коммерциялық жүзеге асыруларды өз ішіне қамтиды.

CUDA – GPU де жалпы мақсаттағы бағдарламалауға мүмкіндік беретін бағдарламалау стандарты. MPI стандарты сияқты CUDA стандартыда қазіргі таңда параллельді бағдарламалаудың кең тараған стандарттарының бірі болып табылады. Бұл стандарт CPU мен GPU арасында көпірлік рөл атқарады. CPU-ге қарағанда GPU әлдеқайда жоғары парменді орындау мен жадға тез қол жеткізіу мүмкіндігін қамтамасыз етеді. CUDA-ның негізгі құрлымдық көпоненттері [9] ядро, блок және ағын болып табылады. Ядро – пайдаланушы анықтайтын функция, ол N түрлі CUDA ағындарымен параллель жұмыс істейді; ағындар CUDA-да параллельді орындаудың негізгі элементтері болып табылады. Блок бір мезгілде орындалатын ағындардан тұрады. Блоктар жіп блоктарының бір өлшемді, екі өлшемді немесе үш өлшемді торына ұйымдастырылған. Тор – бір ядроны орындайтын ағынды блоктардың массиві. Қазыргы таңда CUDA технологиясын мұнай есептеулерінеде жиі қолданады. Мысалға, [10] жұмыс авторлары резервуар үшін CUDA технологиясын пайдаланып, үш өлшемді модельдің параллельді алгоритімін ұсынған.

Бұл зерттеуде мұнай ығыстыру мәселесін шешу үшін GTX 1080 i GPU таңдалды.

MPI+CUDA, бұл жоғары өнімді есептеуде MPI және CUDA технологияларының артықшылықтарын көрсету үшін қолданылатын екі параллельді есептеу стандарттарының комбинациясы. Ол арқылы екі түрлі технологиялардың бірігуімен параллельді бағдарламалар құрып оңтайлы өнімділікке қол жеткізді. [11] Жұмыс авторлары өздерінің еңбегінде бірнеше GPU пайдаланып есептеу жүргізген және ол есептеу жылдамдығын дерліктей арттырған. [12] Жұмыс авторлары бір GPU, екі GPU, үш GPU және төрт GPU ден пайдаланып, әр түрлі өлшемдегі тор көздері бойынша есептеу жүргізген, есептеу нәтижесі GPU санының артуына байланысты есептеу өнімділігі көрнекі жоғарлаған.

Бұл жұмыста, мұнай ығыстыру мәселесін шешуде қысымды есептеу үшін MPI, CUDA және MPI+CUDA гибридті технологиясының есептеу уақыты мен өнімділігі талқыланды, сондай-ақ, соңғы нәтижесіне талдау жасалынды.

Есептің қойылымы. Су мен мұнай кеуекті орта қабатында сығылмайтын сұйықтық ретінде қаралады. Қарастырылатын модель екі фазалы (су, мұнай) ағын. Су және мұнай үшін массаны сақтау заңдылығын ескере отырып, мұнай ығыстыру мәселесінің математикалық моделін төмендегідей сипаттаймыз.

$$\text{Су фазасының теңдеуі: } m \frac{\partial S_w}{\partial t} + \text{div}(\vec{v}_w) = 0. \quad (1)$$

$$\text{Мұнай фазасының теңдеуі: } m \frac{\partial S_o}{\partial t} + \text{div}(\vec{v}_o) = 0; \quad (2)$$

$$S_o + S_w = 1, \quad (3)$$

мұндағы m – кеуектілік, S_o and S_w мұнай мен судың қанықтылығы, \vec{v}_w and \vec{v}_o су мен мұнай фазаларының жылдамдығы. Сонымен қатар жылдамдықтар Дарси заңымен өрнектеледі:

$$\vec{v}_i = -k \frac{f_i(S)}{\mu_i} \nabla p; \quad i = o, w, \quad (4)$$

мұндағы k – абсолютті өткізгіштік, μ_i ($i = o, w$) – мұнай мен судың тұтқырлығы, $f_i(S)$ келесі теңдеумен өрнектелетін салыстырмалы фазалы өткізгіштік:

$$f_w(S_w) = S_w^2, \quad f_o(S_o) = (1 - S_o)^2. \quad (5)$$

(1) және (2) теңдеуінен шығатын мұнайды ығыстыру қысым теңдеуі келесідей:

$$\text{div}(\vec{v}_w) + \text{div}(\vec{v}_o) = 0; \quad (6)$$

Бастапқы шарттар: $S|_{t=0} = S_0, P|_{t=0} = P_0$.

Шекаралық шарттар: $S|_{x=0} = S_{inj}, \frac{\partial S}{\partial x}|_{x=1} = 0, P|_{x=0} = P_{inj}, P|_{x=1} = P_{prod}$.

Жоғарыдағы (1) - (5) мұнай ығыстыру мәселесін шешу үшін Бакли-Левеверетт моделі [2] қолданылды. Бакли-Левеверетт моделінде келесі болжамдар қарастырылды:

- ағын сызықты, горизонтал және тұрақты қалыңдықта;
- ағын тұрақты температураны сақтайды, сығылмайды және Дарси заңына бағынады;
- су мен мұнай араласпайды;
- гравитация және капиллярлық қысым әсерлері шамалы;
- кеуектілік тұрақты деп есептеледі.

Есепті шешудің сандық моделі. Жоғарыда келтірілген (1) - (5) математикалық моделі арқылы сиппаталатын мұнай ығысу есебін сандық түрде шешу үшін Якоби әдісі қолданылды.

$$\text{Қысым теңдеуі (6) үшін: } P_i^{t+1} = \frac{M_{i+\frac{1}{2}} P_{i+1}^t + M_{i-\frac{1}{2}} P_{i-1}^t}{M_{i+\frac{1}{2}} + M_{i-\frac{1}{2}}}; \quad (7)$$

$$\text{Мұнда, } M_{i+\frac{1}{2}} = \frac{M_i + M_{i+1}}{2}, \quad M_{i-\frac{1}{2}} = \frac{M_i + M_{i-1}}{2}, \quad M_i = \left[-k \frac{f_o(S)}{\mu_o} \right] + \left[-k \frac{f_w(S)}{\mu_w} \right];$$

$$\text{Қанықтылық үшін: } S_i^{t+1} = S_i^t + \frac{\Delta t}{m \Delta x^2} \left[K_{i+\frac{1}{2}} (P_{i+1}^t - P_i^t) - K_{i-\frac{1}{2}} (P_i^t - P_{i-1}^t) \right]; \quad (8)$$

$$\text{Мұнда, } K_{i+\frac{1}{2}} = \frac{K_i + K_{i+1}}{2}, \quad K_{i-\frac{1}{2}} = \frac{K_i + K_{i-1}}{2}, \quad K_i = -k \frac{f_w(S)}{\mu_w}.$$

Есепті шешуде гибридті параллелді алгоритімді пайдалану. Қарастырылған мұнай ығыстыру есебі үшін жалпы MPI, CUDA және MPI+CUDA (2GPU) параллелді алгоритімдер келесі төрт кадамнан тұрады.

1. Есептеудің бастапқы және шекаралық шарттарына сәйкес берілген n нүкте деректері әртүрлі деректерды есептеуші ресурсына (CPU немесе GPU) үлестіріледі.

2. Әрбір есептеу ресурсы өзіне үлестірілген жеке деректерімен есептеу жүргізеді.

3. Есептелген деректерді негізгі процессор жинап алады.

4. Деректерге визуализация жасалады және талдау жүргізіледі.

MPI+CUDA (2GPU) технологиясы бойынша гибридті параллелді есептеу алгоритмі өзіндік ерекшеліктерге ие. Екі GPU құрылғысы пайдаланғандықтан есептеуде алдымен деректерді CPU-дан екіге бөліп екі GPU-ға көшірмесі жолданады. Екі CPU және екі GPU арасындағы деректердің алмасуы 1-суретте көрсетілген. Мұнда көріп отырғанымыздай деректер CPU-лар арасында MPI арқылы алмасады.

Мұнай ығыстыру есебінің гибридті параллелді алгоритмінің жалпы процессі 6-суретте сипатталған. Суреттен көргеніміздей есептеу төмендегі қадамдар бойынша жүзеге асырылады.

1-қадам: есептеуге қажетті параметрлер инициализацияланады.

2-қадам: MPI процесі инициализацияланады.

3-қадам: CPU-ларға екі бөлінген деректер үлестіріледі.

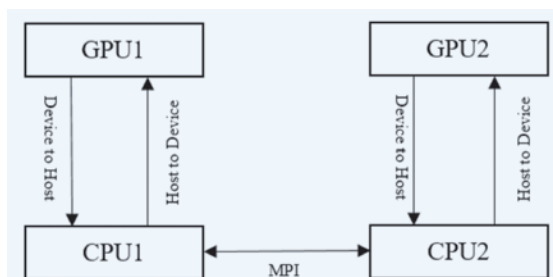
4-қадам: Екі CPU-мен екі GPU құрылғылары 1-суретте көрсетілгендей жұптастырылады.

5-қадам: GPU-да деректер үшін жадтан орын бөлінеді және CPU-дан сәйкес GPU-ға деректер көшіріледі.

6-қадам: Әр GPU-да алгоритм бойынша кезекпен қысым, қанықтылық және концентрация есептелінеді.

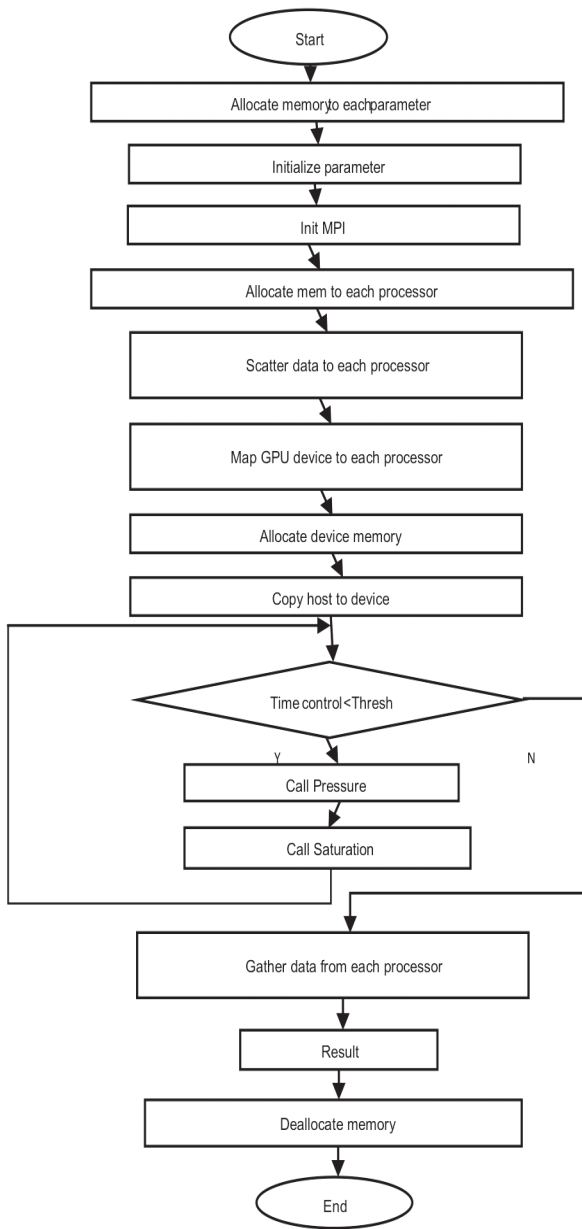
7-қадам: Есептеудің әр итерациясының соңында деректерді параллелді түрде GPU-дан CPU-ға, CPU-дан түбір процессорға жалпы деректерді жинап файлға жазылады.

8-қадам: MPI-процесі аяқталады.

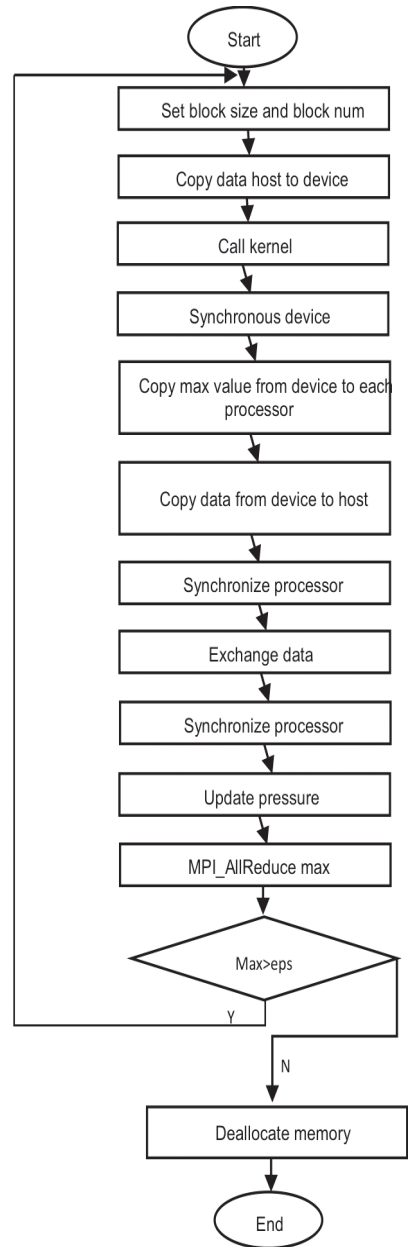


Сурет 1 – GPU лердың арасындағы деректердің алмасу процесі

Гибридті алгоритм бойынша екі GPU-да қысымды есептеудің параллелді алгоритмі 3-суретте сипатталған. Суретте көрсетілгендей қысымды есептеуде әр итерация сайын деректер 2-суреттегідей алмасады және “Call kernel” процессі орындалып отырады. Сонымен қатар \max -тың мәні екі GPU-да есептелген үлкен мәндің глобалды ең үлкен мәні алынады. Анықталған \max мәнін есептеудің дәлдігі ϵ константымен салыстыру нәтижесінде гибридті есептеу арықарай жалғастырылады немесе аяқталады.



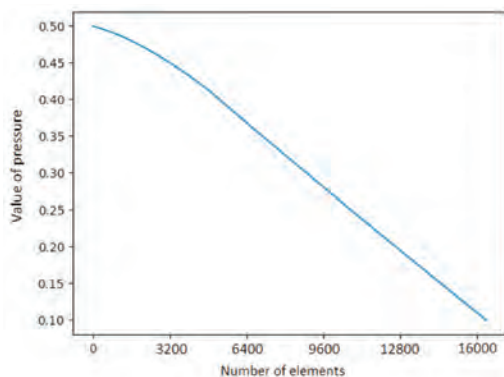
Сурет 2 – MPI+CUDA-да гибритті есептеудің жұмыс ағыны



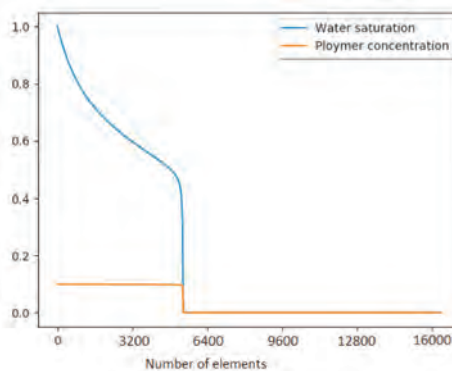
Сурет 3 – Қысымды есептеудің гибритті алгориті

Параллельді есептеу нәтижелері. Жоғарыда қарастырлған мұнай ығыстыру мәселесінің параллелді бағдарламалары жүзеге асырылды және параллелді есептеудің нәйтжесі алынды.

4(a)-суретде қарастырылған есептің су қанықтылығы мен полимер концентрациясының таралуы, ал 4(b)- суретінде қысым өзгерісі көрсетілген.



Сурет 4(а) – Полимер және су қанықтылығының таралуы



Сурет 4(б) – Қысымның таралуы

Төмендегі 1-кестеде эксперименттерде қолданылған Бакли-Леверетт моделінің кіріс параметрлері көрсетілген.

Кесте 1 – Модель параметрлері

Параметрлер	Мәні
К (абсолютті өткізгіштік)	0,001
судың тұтқырлығы	0,09
мұнайдың тұтқырлығы	0.3
кеуектілік	0.2
P_{inj}	0,5
P_{init}	0.3
P_{prod}	0.1
S_{inj}	1.0
S_{init}	0,001

Келесі 2-кестеде модельдеудің тізбектей орындау уақытының нәтижелері көрсетілген (қысым үшін). Нүктелер санының көбеюіне байланысты орындау уақыты да артады.

Кесте 2 – Тізбектей орындау уақыты (қысым үшін)

Нүктелер саны	Уақыт
16384 (2^{14})	5.03899
65536 (2^{16})	20.6046
262144 (2^{18})	90.1417
1048576 (2^{20})	397.866
4194304 (2^{22})	2522.03

Келесі 3-кестеде MPI технологиясынан пайдаланып екі процессорда қысымды есептеудің уақыты мен үдеуі көрсетілген.

Кесте 3 – 2 процессорда MPI параллельді орындау уақыты мен үдеуі (қысым үшін)

Нүктелер саны	уақыт	үдеу
2^{14}	7.113	0.71
2^{16}	28.310	0.72
2^{18}	114.696	0.79
2^{20}	468.402	0.85
2^{22}	1945.474	1.3

Келесі 4-кестеде CUDA технологиясынан пайдал бір GPU да қысымды есептеудің уақыты мен үдеуі көрсетілген, ағындар саны 128, 256, 512 және 1024. Нүктелер санының артуына байланысты ағындар саны 256 болған кезде тестілеу нәтижесі жақсара бастады. CUDA стандарты бойынша бір GPU-де алынған параллельді есептеу нәтижесінің үдеуі ең аз болғанда 19.1, ең көп болғанда 24.7-ге жетті, яғни тізбекті есептеуге қарағанда 25 есеге жуық тез есептеді дегенді білдіреді.

Кесте 4 – CUDA параллельді орындау уақыты мен үдеуі (қысым үшін)

	Ағындар саны							
	128		256		512		1024	
Нүктелер саны	уақыт	Үдеу	Уақыт	үдеу	уақыт	үдеу	уақыт	үдеу
2^{14}	1.623	3.1	1.6624	3.0	2.061	2.5	2.882	1.75
2^{16}	2.8093	7.33	2.8203	7.31	2.826	7.31	2.998	6.9
2^{18}	7.5144	12	7.6939	11.7	8.130	11.1	9.186	9.8
2^{20}	25.9973	15.3	26.0143	15.3	28.051	14.2	34.2965	11.6
2^{22}	101.971	24.7	101.916	24.7	108.815	23.2	132.243	19.1

Келесі 5-кестеде CUDA+MPI гибриді параллельді алгоритімнен пайдаланып екі GPU де қысымды есептеудің уақыты мен үдеуі көрсетілген. GPU де ағындар саны 512.

Кесте 5 – CUDA+MPI параллельді орындау уақыты мен үдеуі (қысым үшін)

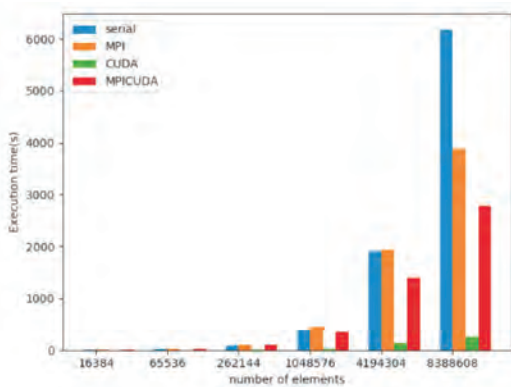
Нүктелер саны	Ағындар (256) / Процессор саны (2)	
	уақыт	үдеу
2^{14}	8.838	0.57
2^{16}	27.436	0.75
2^{18}	102.782	0.88
2^{20}	367.184	1.1
2^{22}	1481.90	1.7

6-кестеде қарастырылған мәселе үшін MPI, CUDA және MPI+CUDA гибридті параллельді алгоритмдерін пайдаланып параллельді бағдарламаларын жүзеге асырудың нәтижелері көрсетілген. Нүктелер санының артуына байланысты, CUDA мен MPI дың гибридті моделі өз рөлін айқын көрсетіп берді. Алайда, берілген нүктелер саны аз болған сайын CUDA мен MPI-дың гибридті моделі CUDA мен салыстырғанда есептеу уақыты салыстырмалы төмен көрсеткішті көрсетті. Мұндағы себеп, біріншіден қысымның әр мезеттегі жаңа мәнін есептеу үшін процессор мен құрылғы арасында өзара деректерді көшіру операциясы орындалады. Екіншіден, есептелген қысымның мәнінің дұрыстығын сақтау үшін алгоритмге сәйкес процессорлар арасында қажет мәндерді алмастыру процесі орындалады. Үшіншіден, әр құрылғыда есептелген Махтың мәнін процессорлардан жинап алу үшін MPI_AllReduce() операциясы орындалады. Деседе, нүктелер санының үздіксіз артуына байланысты екі не одан да көп түйіндер арасына есептеулер жүргізгенде CUDA мен MPI дың гибридті параллельді алгоритмінің есептеу нәтижесі тізбектей есептеу мен MPI-ға қарағанда жақсара түсті.

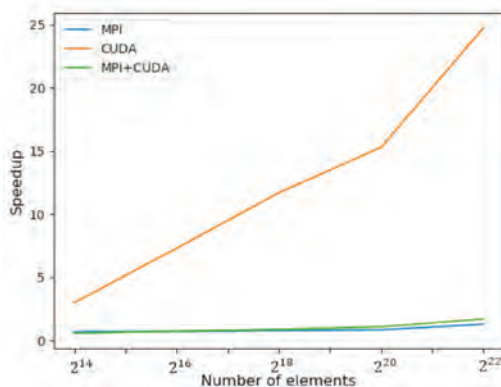
Кесте 6 – Параллель орындау уақытының нәтижелерін салыстыру (қысым үшін)

Нүктелер саны	Тізбектей	MPI (2 processor)		CUDA (256 ағын)		CUDA+MPI (2 processor + 2 GPU)	
	уақыт	уақыт	үдеу	уақыт	үдеу	Уақыт	үдеу
2 ¹⁴	5.03899	7.113	0.71	1.66135	3.0	8.838	0.57
2 ¹⁶	20.6046	28.310	0.72	2.82025	7.31	27.436	0.75
2 ¹⁸	90.1417	114.692	0.79	7.69395	11.7	102.782	0.88
2 ²⁰	397.866	468.402	0.85	26.0143	15.3	367.184	1.1
2 ²²	2522.03	1945.474	1.3	101.916	24.7	1481.90	1.7

5(a) суретте әртүрлі параллельді есептеу модельдерінің орындалу уақытының салыстырылуы көрсетілген. 5(b) суретте әртүрлі параллельді есептеу модельдерінің үдеуінің салыстыру көрсетілген.



Сурет 5(a) – Параллель модельдердің есептеу уақыты



Сурет 5(b) – Параллель модельдің үдеуі

Нүктелердің санының артуына байланысты бастапқы тізбекті үлгінің орындау уақыты басқа параллельді модельдермен салыстырғанда тез өседі және әртүрлі параллельді есептеу модельдерінің үдеуі артады.

Қорытынды. Бұл жұмыста мұнай ығыстру мәселесін шешу үшін параллелді есептеудің MPI+CUDA(2GPU) гибридіті технологиясы қарастырылды. Бір өлшемді Бакли-Леверетт математикалық моделі құрылды. Сандық әдістен айқындалған Якоби әдісі таңдалды, сонымен қатар тізбектелген және MPI, CUDA және MPI+CUDA(2GPU) параллелді алгоритмдері құрылды. Параллелді бағдарламалар жүзеге асырылып үш түрлі стандарт бойынша параллелді бағдарламаларға 2^{14} – 2^{22} нүктелер саны бойынша тестілеу жүргізілді. Тестілеу алдымен тізбектелген бағдарлама бойынша әртүрлі нүктелерде есептеудің уақыты алынды. Содан кейін MPI параллелді бағдарламасы орындалып есептеу уақыты алынды. Нәтижесі 3-кестеде көрсетілді. 3-қадамда CUDA параллелді бағдарламасы бір GPU-да және екі GPU-да берілген ағындар санынына сәйкес орындалып есептеу уақытымен үдеуі 4-және 5-кестеде көрсетілді. Тестілеу нәтижесі бойынша CUDA барлық нүктелерде ағындар саны 128, 256, 512 және 1024 болғанда ең жақсы есептеу үдеуін көрсетті. MPI нашар нәтиже берді, себебі салыстырмалы нәтиже алу үшін тек қана екі процессор пайдаланылды. Ал MPI+CUDA(2GPU) орташа нәтиже көрсетті. Нүктелердің санының артуына байланысты, параллелді есептеу алгоритмдерінің үдеуі барған сайын өсті.

Алғыстар. Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасының ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды (Грант № AP14871644).

ӘДЕБИЕТ

- 1 G. P. Willhite, «Waterflooding,» 1986.
- 2 S. E. Buckley and M. C. Leverett, «Mechanism of Fluid Displacement in Sands, Transact,» 1942.
- 3 T. Imankulov, D. Lebedev, K. Aidarov and O. Turar, «Design of HPC system for analysis the gel-polymer flooding of oil fields,» Contemporary Engineering Sciences, vol. 7, p. 1531–1545, 2014.
- 4 Message Passing Interface Forum, “MPI Forum,” 2017. [Online]. Available: <http://mpi-forum.org/docs/>.
- 5 The Open MPI Organization, “Open MPI: Open Source High Performance Computing,” 2018. [Online]. Available: <https://www.open-mpi.org/>.
- 6 MPICH Organization, “MPICH,” 2018. [Online]. Available: <http://www.mpich.org/>.
- 7 IBM Systems, “IBM Spectrum MPI,” 2018. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/us-en/marketplace/spectrum-mpi>.
- 8 Intel Developer Zone, “Intel MPI Library,” 2018. [Online]. Available: <https://software.intel.com/en-us/intel-mpi-library>.
- 9 Kandrot, E., Sanders, J., 2011. CUDA by Example. Addison-Wesley Professional (ISBN:0131387685 9780131387683)
- 10 Beisembetov, I. K., T. T. Bekibaev, B. K. Assilbekov, U. K. Zhapbasbayev, and B. K. Kenzhaliev. [2012] “High-performance computing in oil recovery simulation based on CUDA.” Proceedings of 10th World Congress on Computational Mechanics. Sao-Paulo, Brazil.
- 11 Bayat, M., and J. E. Killough. [2013] “An experimental study of GPU acceleration for reservoir simulation.” SPE Reservoir Simulation Symposium.

12 Jianqi Lai, Hang Yu, Zhengyu Tian, and Hua Li, “Hybrid MPI and CUDA Parallelization for CFD Applications on Multi-GPU HPC Clusters.” Scientific Programming, vol. 2020, p. 15, 2020.

REFERENCES

- 1 G. P. Willhite, “Waterflooding,” 1986.
- 2 S. E. Buckley and M. C. Leverett, “Mechanism of Fluid Displacement in Sands, Transact,” 1942.
- 3 T. Imankulov, D. Lebedev, K. Aidarov and O. Turar, “Design of HPC system for analysis the gel-polymer flooding of oil fields,” Contemporary Engineering Sciences, vol. 7, p. 1531–1545, 2014.
- 4 Message Passing Interface Forum, “MPI Forum,” 2017. [Online]. Available: <http://mpi-forum.org/docs/>.
- 5 The Open MPI Organization, “Open MPI: Open Source High Performance Computing,” 2018. [Online]. Available: <https://www.open-mpi.org/>.
- 6 MPICH Organization, “MPICH,” 2018. [Online]. Available: <http://www.mpich.org/>.
- 7 IBM Systems, “IBM Spectrum MPI,” 2018. [Online]. Available: <https://www.ibm.com/us-en/marketplace/spectrum-mpi>.
- 8 Intel Developer Zone, “Intel MPI Library,” 2018. [Online]. Available: <https://software.intel.com/en-us/intel-mpi-library>.
- 9 Kandrot, E., Sanders, J., 2011. CUDA by Example. Addison-Wesley Professional (ISBN:0131387685 9780131387683)
- 10 Beisembetov, I. K., T. T. Bekibaev, B. K. Assilbekov, U. K. Zhapbasbayev, and B. K. Kenzhaliev. [2012] “High-performance computing in oil recovery simulation based on CUDA.” Proceedings of 10th World Congress on Computational Mechanics. Sao-Paulo, Brazil.
- 11 Bayat, M., and J. E. Killough. [2013] “An experimental study of GPU acceleration for reservoir simulation.” SPE Reservoir Simulation Symposium.
- 12 Jianqi Lai, Hang Yu, Zhengyu Tian, and Hua Li, “Hybrid MPI and CUDA Parallelization for CFD Applications on Multi-GPU HPC Clusters.” Scientific Programming, vol. 2020, p. 15, 2020.

Е. МАХМУТ, Т. С. ИМАНКУЛОВ, Б. МАТКЕРИМ

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ГИБРИДНОЙ (MPI+CUDA) ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ

В данном исследовании рассмотрена численная модель вытеснения нефти с использованием технологии параллельных вычислений. Использовались стандарты высокопроизводительных гибридных вычислений (MPI + CUDA, 2 GPU) для параллельных вычислений. Основная цель исследования – реализовать процесс расчета распределенных данных с помощью MPI независимо на двух графических процессорах, а также провести сравнительный анализ времени расчета и ускорения параллельных алгоритмов. Были созданы гибридные (MPI + CUDA) алгоритмы параллельных вычислений и реализованы MPI, CUDA, гибридные параллельные программы MPI и CUDA и проанализированы результаты.

Ключевые слова: EOR, HPC, CUDA, MPI, гибридный параллелизм.

E. MAKHMUT, T. S. IMANKULOV, B. MATKERIM

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A HYBRID (MPI+CUDA) PARALLEL PROGRAM FOR SOLVING THE OIL DISPLACEMENT PROBLEM

In this work, a numerical model of oil displacement was developed using parallel computing technology through the Buckley-Leverett method. Used the hybrid (MPI + CUDA (2 GPU)) high-performance parallel computing technologies. The main goal of this work is by using these two GPU to implement computing processes of distributed data through the MPI, as well as to make a comparative analysis of the computing time and acceleration of parallel algorithms. The MPI, CUDA, hybrid (MPI + CUDA) parallel computing algorithm and the parallel program were realized, and the results were analyzed.

Key words: EOR, HPC, CUDA, MPI, Hybrid parallel.

*Д. Е. МУСИНА**, *Л. Б. РАХИМЖАНОВА*

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан
e-mail: mussina23d@gmail.com, lyazatr72@gmail.com*

ИНТЕРАКТИВНЫЕ РАБОЧИЕ ТЕТРАДИ КАК СПОСОБ РАЗВИТИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ РОБОТОТЕХНИКИ

В современном образовательном процессе технологии активно интегрируются. Последние международные отчеты анализируют ключевые тенденции внедрения технологий в образовательный контекст, выделяют робототехнику как одну из перспективных новых технологий для применения в обучении и в качестве дидактического инструмента. Цель настоящего исследования – выяснить, как использование интерактивных тетрадей в робототехнике в процессе обучения детей начальных классов влияет на их познавательную деятельность, мотивацию и восприятие учебного материала. Исследование проведено в рамках учебного эксперимента «Робототехника» с участием 108 учащихся начальных классов (8-9 лет). Применен квази-экспериментальный дизайн, основанный на формировании двух естественных групп: контрольной и экспериментальной. Отличие между группами заключается в использовании традиционных методов с конструированием в экспериментальной группе и лишь практики конструирования в контрольной. Результаты исследования свидетельствуют о том, что использование робототехники с традиционными методами в учебном процессе существенно повышает мотивацию, обучаемость и развивает положительные коммуникативные и социально-эмоциональные отношения среди учащихся. Полученные выводы подчеркивают важность совершенствования подготовки преподавателей по данной методике с целью максимального использования ее потенциала в образовательном процессе.

Ключевые слова: педагогика, образование, робототехника, конструирование, процесс обучения, познавательная деятельность, рабочие тетради, разработка.

Введение. Робототехника представляет собой относительно новое и стремительно развивающееся научное направление, которое возникло в ответ на необходимость освоения новых сфер и областей деятельности человека, а также потребность в широкой автоматизации современного производства с целью повышения его эффективности. На сегодняшний день дисциплина «Робототехника» успешно интегрируется в образовательный процесс, включая как систему основного общего образования, так и систему дополнительного образования. Это инновационное направление обусловлено запросами школьников, обладающих навыками алгоритмического мышления.

Обучение робототехнике становится все более актуальным и востребованным в детском образовании, не только формируя технические навыки, но и способствуя развитию познавательной деятельности у учащихся. Для этого используются робототехнические платформы LEGO, предоставляющие возможность освоения методов конструирования робототехнических систем. На официальном сайте LEGO доступны проекты, позволяющие изучать простые механизмы и базовые алгоритмы управления роботом, такие как организация движения, основы компьютерного зрения и другие за-

* E-mail корреспондирующего автора: mussina23d@gmail.com,

дачи, раскрывающие не только в робототехнике, но и в смежных областях, таких как физика, математика и технологии. Обучение в области робототехники представляет собой комплексный подход, направленный на развитие креативности, аналитических навыков, программирования и алгоритмического мышления у учащихся. Эти методы способствуют достижению максимальных результатов в обучении робототехнике, подготавливая учащихся к современным технологиям и развивая их познавательную деятельность.

Однако, несмотря на активное развитие робототехники, в настоящее время отсутствуют широко распространенные учебно-методические материалы, включая рабочие тетради. В контексте обучения робототехнике традиционные тетради, предназначенные для учебных предметов, оказываются неудовлетворительными, поскольку не предоставляют специальных разделов или мест для записей о робототехнических проектах и исследованиях. Они также ограничивают пространство для рисунков и схем, затрудняя визуализацию и понимание процессов. Таким образом, основной целью настоящего исследования является разработка учебно-методического материала, включая рабочие тетради, охватывающие различные аспекты робототехники и обеспечивающие структурирование учебного процесса для последовательного изучения материала, что содействует эффективному развитию познавательных деятельности учащихся.

Методы. Для данного исследования были применены следующие методы:

- Исследование содержания учебно-методических материалов по другим предметам;
- Сравнительный анализ различных методик и материалов с учетом их влияния на познавательную деятельность учеников;
- Проведение наблюдений за уроками, на которых используются рабочие тетради;
- Фиксация, каким образом ученики взаимодействуют с учебными-методическими материалами в процессе выполнения заданий и учебных проектов;
- Анализ результатов наблюдений и выявление закономерностей;
- Изучение и анализ заполненных учебно-методических материалов, включая записи, рисунки, диаграммы и другие материалы;
- Разделение группы учащихся на две подгруппы: экспериментальную и контрольную;
- Сравнение результатов обучения;
- Сбор и анализ количественных данных о прогрессе и успеваемости учащихся.

Методология исследования. Успешное обучение – это прежде всего отличное усвоение материала, интерес к новым знаниям, мотивация, обретение новых навыков. Человек лучше усваивает информацию, если для запоминания используются все виды памяти, включая двигательную. Воспринимая информацию на слух (слова учителя во время урока), визуально, используя двигательную память в виде практики, и с закреплением материала на рабочих тетрадях ребенок гораздо лучше осваивает новый материал.

Для эффективного развития познавательной активности учеников 3 класса в предметной области «Робототехника» были разработаны специализированные рабочие тетради.

Специализированные секции в рабочей тетради: внутри тетради созданы разные секции для разных видов записей. Например, одна секция для теоретических заметок по робототехнике, чертежей проектов и понимания терминологии. Ученик не просто механически учится материалу, а самостоятельно исследует и находит ответы, используя удобные тетради. В результате ребенок закрепляет полученные знания по робототехнике, что способствует более глубокому усвоению нового материала. Разделители и нумерация страниц добавлены для организации записей и быстрого поиска информации, что улучшает организацию учебного процесса. Эффективность работы учащихся повышается благодаря экономии времени на выполнение заданий с использованием тетради.

В тетрадях представлен системный подход, начиная с задач, цель которых расширить представления учащихся о ключевых терминах и принципах робототехники. Задания по разработке алгоритмов способствуют развитию алгоритмического мышления и логического мышления. Ученики собирают и программируют своих роботов для решения задач, развивая познавательную активность (рис. 1-3).

Творческий подход и проекты позволяют детям проявить инженерную фантазию и креативность при создании робототехнических проектов. Исследовательские задачи вовлекают учеников в анализ различных датчиков и их применение в робототехнике через практическую работу. Сравнение моделей роботов способствует более глубокому пониманию технологий.

В конце каждой тетради предусмотрены разделы для анализа ошибок и самостоятельной оценки проделанной работы, развивая критическое мышление. Яркие иллюстрации и картинки используются для визуализации концепций и идей по робототехнике, делая учебный процесс более приятным и привлекательным для детей.



Рисунок 1 – Пример задания на соответствие для ознакомления с набором

Раздел 3. _____ 

1 4 фото 1 слово, определите название урока. _____ из 1 б.



2 Напиши ответ. _____ из 4 б.

_____ - представляет собой дверь, которая открывается автоматически, без необходимости вмешательства или обычно при обнаружении приближения. Работает благодаря датчику _____.

3 Напиши наименование деталей для конструирования. _____ из 5 б.



21

Рисунок 2 – Задания по теме автоматических дверей

Раздел 3. _____ 

4 Нарисуй модель своей мини машинки для въезда и выезда на парковку через автоматические ворота. _____ из 5 б.



5 Составь программу для успешного въезда и выезда машины через автоматические ворота. _____ из 5 б.



22

Рисунок 3 – Задание на проектирование и программирование

Результаты. Для оценки эффективности методологии развития познавательной деятельности в процессе обучения робототехнике с применением рабочих тетрадей был проведен педагогический эксперимент.

В ходе исследования были выбраны две группы учащихся с 3 параллельных классов в общем количестве 108 с одинаковым уровнем начальных знаний по робототехнике. Первая группа из 3 классов (экспериментальная) использовала тетради для систематизации и анализа полученной информации в процессе обучения. Вторая группа, состоящая из 3 классов (контрольная), обучалась без применения данной методики. В конце обучения при сдаче контрольных работ был проведен анализ баллов двух групп (таблица 1).

Критерий Стьюдента (t-критерий) позволяет найти вероятность того, что оба средних значения в выборке относятся к одной и той же совокупности. Данный критерий наиболее часто используется для проверки гипотезы: «Средние двух выборок относятся к одной и той же совокупности». Поэтому с целью сравнения результатов был использован t-критерий.

Таблица 1 – Оценки экспериментальной и контрольной группы

Первая группа (экспериментальная) N ₁ = 54 человек	Вторая группа (контрольная) N ₂ = 54 человек
17 18 16 15 18 20 16 13 17 15 17 17 20 20 18 15 19 18 17 16 18 20 15 19 19 13 15 17 18 16 19 13 17 19 20 14 16 14 17 19 19 13 19 18 15 16 11 17 18 20 17 19 17 17	16 11 10 16 18 17 16 13 16 14 19 11 9 16 14 15 9 17 13 15 12 17 13 13 10 11 15 16 9 13 16 14 11 12 15 13 11 18 11 17 11 15 14 18 13 15 7 10 11 5 14 12 10 14

Общее количество членов выборки: $n_1 = 54$,

Расчет средних арифметических: $X_{cp} = 17,08$, $X_{cp} = 13,28$

Стандартное отклонение: $\sigma_x = 2,19$, $\sigma_y = 2,93$

По формуле рассчитывается стандартная ошибка разностей арифметических средних:

$$\sigma_{x-y} = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \underline{x})^2 + \sum(y_i - \underline{y})^2}{(n-1) \times n}}$$

Статистика критерия: $t = \frac{x_{cp} - y_{cp}}{\sigma_{x-y}} = 3,6$

Значение t-статистики составило примерно 3.6025. Для определения статистической значимости различия между двумя группами с использованием критерия Стьюдента, необходимо было сравнить рассчитанное значение t-статистики с критическим значением t-статистики при заданном уровне значимости (обычно 0.05 или 0.01) и числе степеней свободы (в данном случае, $df = 106$ для обеих групп).

Для уровня значимости 0.05 и 106 степеней свободы (применяя таблицу критических значений t-статистики или статистический калькулятор), критическое значение t-статистики составит примерно 1.984.

Теперь сравним рассчитанное значение t-статистики (3.6025) с критическим значением (1.984). Рассчитанное значение t-статистики больше критического значения (в данном случае, $3.6025 > 1.984$).

Результаты имеют существенные различия. Учащиеся из экспериментальной группы продемонстрировали более высокий уровень активности и информированности в учебном процессе. Их записи в тетрадах свидетельствовали о более глубоких нарушениях робототехники и систематизированном подходе к изучению материала.

Кроме того, в экспериментальной группе отмечен более высокий уровень саморегуляции и ответственности за процесс обучения. Учащиеся более организованно подходили к выполнению заданий, что в конечном итоге было сказано в качестве формулирования материала.

Таким образом, результаты эксперимента подтвердили эффективность методологии развития познавательной деятельности в обучении робототехники с использованием тетрадей. Этот подход обеспечивает более глубокое понимание и систематизацию знаний, а также развитие саморегуляции среди учащихся. В связи с этим рекомендуется широкое внедрение данных методик в образовательный процесс, особенно в сфере обучения робототехнике.

Обсуждение. Робототехника в школьном образовании переживает удивительное и захватывающее развитие. Несомненно, она приходит на уроки, чтобы остаться, и эта эра внедрения робототехники в школьные программы свидетельствует о глубоких изменениях в образовательном процессе. Долгое время робототехника оставалась вспомогательным средством, призванным наглядно иллюстрировать науку и инженерию. Что можно заметить в статьях Купермана Д., Вернера И.М. [1], Лопес-Каудана Э., Понсе П., Сервера Л. [2] и Баделе А. [3], где робототехника применяется в качестве мощного инструмента для изучения и углубленного понимания других предметов как математика, биология и физика и др.

Все упомянутые авторы подчеркивают, что в области робототехники особое внимание уделяется решению задач с практической направленностью. Для достижения решения этой задачи требуется приобретение определенных знаний, проведение экспериментов с последующим анализом результатов и выводов. Учитель не должен предоставлять готовые решения. Основной акцент следует делать на развитии у ученика навыков постановки вопросов, формулирования гипотез и поиска решений, а также анализа полученных результатов.

До сих пор не проведено множество других исследований, посвященных образовательной робототехнике. В основном авторы фокусируются на анализе методов моделирования, создания и сборки простых роботов с использованием определенных учебных наборов. Большинство научных и методических публикаций посвящены использованию конструкторов Lego в процессе обучения робототехнике. Например, Новородова [4] рассматривает возможности применения «Lego» при работе с младшими школьниками, Злаказов [5] уделяет особое внимание конструированию как инструменту развития инженерного мышления, а Скороходова [6] анализирует

особенности обучения робототехнике во внеурочной деятельности и его воздействие на комплексное развитие умений в предметной области.

В эпоху современных технологий и цифровой информации тетради как средство записи и хранения информации могут показаться устаревшими. Тем не менее, тетради остаются важным инструментом в образовании и научных исследованиях.

Вопросы, связанные с применением рабочих тетрадей в учебном процессе, были исследованы в различных научных работах, включая труды Е.А. Вержинской, Е.А. Крючковой, А.М. Ликарчук, И.Г. Майоровой, О.А. Нильсона и И.Э. Унт. Анализ их исследований показывает, что ученые не имеют общего мнения относительно типов рабочих тетрадей. Например, Е.А. Крючкова разделяет рабочие тетради на две категории в зависимости от их функциональной нагрузки: многофункциональные (содержащие разнообразную учебную информацию и различные виды заданий) и однофункциональные [7].

Исследователь И. Э. Унт разграничивает два типа рабочих тетрадей, используя критерии уровня самостоятельности школьника и связи с учебником. Первый тип включает тетради для индивидуальной работы, второй – для работы под руководством учителя (по первому критерию). Второй тип тетрадей, прямо связанные с определенным учебником, и те, которые не имеют прямой связи с ним (по второму критерию) [8].

Исследование, проведенное Фаридой Ханум, Ретно Дви Суянти и Фаузией Харахап в четвертых классах в городе Тебин Тингги, было направлено на изучение влияния использования рабочих листов учащимися на развитие научных навыков и мотивацию к обучению. Исследования показали, что использование рабочих листов, основанных на научных навыках, значительно улучшает результаты обучения учащихся по сравнению с теми, кто использует обычные рабочие листы. Это подтверждает важность интеграции активных методов обучения, ориентированных на научный процесс, в учебную практику [9].

Работа Ристевской М., Кокошки Дж., Граматковского Б. и Сиваковой Д. 2015 года посвящена роли рабочих тетрадей в начальных школах Республики Македония. Исследование имело цель выявить влияние этих тетрадей на образовательный процесс. Авторы подчеркнули, что рабочие листы, как учебное пособие, играют важную роль в обучении учащихся. Они предоставляют теоретическую базу по предмету и способствуют решению и усвоению разнообразных когнитивных задач. Эти тетради также способствуют развитию мышления через разнообразные виды деятельности [10].

В статье Уфук Т., Акдениз А.Р., Цимер С.О. и Гурбуз Ф. авторы акцентируют внимание на необходимости учитывать современные теории обучения, ориентированные на учащегося. Это указывает на важность переосмысления образовательных методов и подходов с учетом современных требований, но вместе с тем подчеркивает эффективность использования рабочих тетрадей. [11]

Выбор данной темы для исследования обусловлен рядом весомых причин, основанных на предыдущем опыте в использовании тетрадей в других областях знаний. Существует множество исследований, проведенных в различных дисциплинах, которые успешно продемонстрировали эффективность применения тетрадей в учебном

процессе. Эти исследования доказали, что тетради являются мощным инструментом для организации и структурирования знаний, а также способствуют более глубокому и системному пониманию материала.

Таким образом, разработанные рабочие тетради по робототехнике представлены логичным шагом, которые обогащают образовательный процесс и способствуют более эффективному усвоению знаний и развитию познавательной деятельности в области робототехники.

Заключение. В данной статье мы рассмотрели важные аспекты предложенной методологии и отметили, что тетради как инструмент обучения робототехнике при развитии познавательной деятельности предназначены для систематизации знаний и навыков учащихся. По результатам тетради позволили структурировать информацию, что способствовало лучшему пониманию материала. Применение тетрадей в обучении робототехнике способствовало развитию познавательной активности учащихся. Задания, представленные в тетрадях, стимулировали мышление, аналитические способности, а также креативное мышление, послужили эффективной оценкой уровня знаний и навыков учащихся в робототехнике.

Результаты подтверждают важность предложенной методологии в области робототехники для развития познавательной деятельности и обозначают хорошо оформленные учебно-методические материалы как эффективный инструмент для оптимизации образовательного процесса учеников, способствуют более глубокому пониманию материала, повышают мотивацию и создают удобное пространство для практического опыта повышая их активность.

ЛИТЕРАТУРА

1 Куперман Д., Вернер И.М. (2013). Обучение через создание роботизированных моделей биологических систем. *Международный журнал технологического и дизайнерского образования*, 23 (4), 849-866.

2 Лопес-Каудана, Эдгар Омар и др. «Роботизированная платформа для преподавания математики в младших классах средней школы». *Международный журнал по интерактивному дизайну и производству* 12 (2018): 1349-1360.

3 Баделе, А. Влияние обучения робототехнике на творческие способности учащихся и обучение физике. *Educ Inf Technol* 26 , 1353-1365 (2021).

4 Новгородова А. С. Развитие навыков начального конструирования и моделирования на основе конструкторов Лего. - Челябинск: Взгляд, 2013. – 76 с.

5 Злаказов А. С. Уроки LEGO-конструирования в школе. - М.: Бином, 2013. – 86 с.

6 Скороходова Г. Г. Робототехника и lego-конструирование // *Научно-методический электронный журнал «Концепт»*. – 2014. – № 12. – С. 226-230.

7 Крючкова Е.А. Рабочие тетради как часть современного учебно-методического комплекса по истории // *Наука и школа*. 2017. С. 191-199.

8 Унт И.Э. Индивидуализация и дифференциация обучения.[Электр. ресурс]. М.1990. —192с:<https://hum.edu-lib.com/pedagogika-psihologiya/unt-i-e-individualizatsiya-i-differentsiatsiya-obucheniya> (дата обращения: 26.09.2023)

9 Харахап, Ф., Дви. С. и Ханым Ф. (2017). Эффект рабочей тетради учащихся на основе научных навыков и процесса мотивации к результатам обучения в 4 классе. *Журнал исследований и методов IOSR в образовании*, 57-61.

10 Ристевска М., Кокошка Дж., Граматковски Б. и Сивакова Д. (2015). Роль рабочих тетрадей в процессе обучения в начальных школах Республики Македония. Международный журнал инноваций и прикладных исследований, 691-698.

11 Утая. С., Руджа Н. и Утами. В. (2016). «Эффективность рабочей тетради для студентов по географии для развития учебного процесса у старшеклассников». Журнал образования и обучения, 5 (3), 315-321.

REFERENCES

1 Cooperman D., Werner E. M. (2013). Learning through building robotic models of biological systems. International journal of technology and design education, 23 (4), 849-866.

2 Lopez-Caudana, Edgar Omar, et al. "A robotic platform for teaching mathematics in junior high school." International Journal of Interactive Design and Manufacturing 12 (2018): 1349-1360.

3 Badele A. The impact of robotics instruction on students' creativity and physics learning. Educ Inf Technol 26 , 1353-1365 (2021).

4 Novogorodova A. S. Development of initial construction and modeling skills on the basis of Lego constructors. - Chelyabinsk: Vzgl'yad, 2013. – 76 с.

5 Zlakazov A. S. Lessons of LEGO-construction at school. – Moscow: Binom, 2013. – 86 с.

6 Skorokhodova G. G. Robotics and lego-construction // Scientific and methodological electronic journal "Concept". – 2014. – № 12. – С. 226-230.

7 Kryuchkova E.A. Workbooks as a part of modern educational-methodical complex on history // Nauka i shkola. 2017. С. 191-199.

8 Unt I. E. Individualization and differentiation of teaching. [Electron. resource]. М.1990. -192с: <https://hum.edu-lib.com/pedagogika-psiologiya/unt-i-e-individualizatsiya-i-differentsiatsiya-obucheniya> (date of reference: 26.09.2023)

9 Harahap, F., Dwi. S., & Hanim, F. (2017). The effect of students' workbook based on science skills and motivation process on learning outcomes in grade 4. Journal of IOSR research and methods in education, 57-61.

10 Ristevska, M., Kokoska, J., Gramatkovski, B. and Sivakova, D. (2015). The role of workbooks in the learning process in elementary school in the Republic of Macedonia. International journal of innovation and applied research , 691-698.

11 Uthaya. S., Ruja N., and Utami. B. (2016). "Effectiveness of geography student workbook for the development of learning process in high school students". Journal of Education and Learning, 5 (3), 315-321.

Д. МУСИНА, Л. РАХИМЖАНОВА

ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

ИНТЕРАКТИВТІ ЖҰМЫС ДӘПТЕРЛЕРІ РОБОТОТЕХНИКАНЫ ОҚЫТУ ПРОЦЕСІНДЕ ТАНЫМДЫҚ БЕЛСЕНДІЛІКТІ ДАМУ ТӘСІЛІ РЕТІНДЕ

Технология оқу процесінде барған сайын белсенділігін арттыруда. Технологияларды білім беру контекстіне біріктірудің негізгі тенденцияларын талдайтын соңғы халықаралық есептерде робототехника оқытуда және дидактикалық құрал ретінде қолдану мүмкіндігі жоғары жаңа технологиялардың бірі ретінде көрсетілген. Бұл зерттеудің мақсаты бастауыш сынып оқушыларын оқыту процесінде робототехника пәнін оқытуда дәптерлерді қолдана отырып,

оқушылардың танымдық белсенділігін, оқу мазмұнына қатысты мотивацияларын, материалды жақсы игеруге ықпал ету, етпеуін анықтау. Зерттеу «Робототехника» пәні аясында мектептегі білім алатын 108 оқушымен, 8-9 жастағы балалардың қатысуымен жүргізілді, бақылау және эксперименттік топқа топтастырылған екі табиғи топқа негізделген квазиэксперименттік дизайн пайдаланылды. Екі топтың бір-бірінен айырмашылығы – тәжірибелік топ дәстүрлі әдістермен, жобалау тәжірибесін пайдаланса, бақылау тобы тек жобалау түрінде тәжірибені пайдаланды. Нәтижелер мектеп тәрбиесі сабақтарында дәстүрлі әдістермен робототехниканы қолдану оқушылардың мотивациясын, оқуын жозарлата отырып, жағымды коммуникативті әлеуметтік-эмоционалды қарым-қатынасын арттырғанын көрсетті. Алынған нәтижелер оқу процесінде оларды барынша пайдалану мақсатында осы әдіс бойынша оқытушыларды даярлауды жетілдіру қажеттігін көрсетеді.

Түйін сөздер: педагогика, білім беру, робототехника, құрылыс, оқу процесі, танымдық іс-әрекет, жұмыс дәптерлері, әзірлеу.

D. MUSSINA, L. RAKHIMZHANOVA

al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

INTERACTIVE WORKBOOKS AS A METHOD FOR DEVELOPING COGNITIVE ACTIVITY IN THE PROCESS OF LEARNING ROBOTICS

Technology is increasingly present in the learning process. In recent international reports analyzing the main trends of technology integration in the educational context, robotics is indicated as one of the new technologies with the greatest potential for application in teaching and as a didactic tool. The purpose of this study is to find out whether the use of notebooks in robotics in the process of teaching elementary school children, increases students' cognitive activity, motivation, in relation to the content of learning, whether it contributes to a better learning of the material. The study was conducted in the subject of Robotics with 108 students, school education, 8-9 year old children, and used a quasi-experimental design based on two natural groups grouped into a control group and an experimental group. The only difference between the two groups was that the experimental group used robotics with traditional methods, while the control group used only practice in the form of design. The results showed that the use of robotics with traditional methods in school education classes increased students' motivation, learnability and positive communicative socio-emotional relationships. The results indicate the need to improve teacher training in this method in order to maximize their use in the teaching process.

Key words: pedagogy, education, robotics, engineering, learning process, cognitive activity, workbooks, development.

**Е. А. НЫСАНОВ¹, Ж. С. КЕМЕЛЬБЕКОВА^{1*}, А. Н. ЖИДЕБАЕВА²,
С. Е. КОЖАБАЕВ¹, А. У. КОРОКБАЕВ²**

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

²Ә.Қуатбеков атындағы халықтар достығы университеті, Шымкент, Қазақстан

МУР ЗАҢЫН ПАЙДАЛАНЫП АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНИКАНЫҢ ДАМУ ҚҰБЫЛЫСЫН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ СИПАТТАУ

Микропроцессорларды әзірлеу барысында Intel корпорациясының негізін қалаушылардың бірі Гордон Мур микропроцессор кристалындағы транзисторлардың саны біраз уақыт аралығында екі есе өседі деген болжам айтты. Бұл эмпирикалық заң қарапайым дәрежелік (экспоненциалды) өрнекпен беріледі. Мур заңын нақтылау бір қарағанда техникалық есеп болып көрінуі мүмкін. Бірақ бұл мүлдем олай емес, ол таза техникалық заңдылықтарға қарағанда микроэлектрониканың дамуының әлеуметтік аспектілерін сипаттайды. Сондықтан Мур заңын бағалау әлеуметтанушылар, экономистер және қазіргі заманғы ақпараттық техниканың тарихы мен даму тенденциясына қызығушылық танытатын адамдар үшін үлкен мағынаға ие. Мақалада ақпараттық техниканың даму құбылысын Мур заңы арқылы сипаттау үшін Mathcad компьютерлік математика жүйесі ортасында алғаш рет қолайлы қолданбалы бағдарламалар құрылған. Бұл заңның қаншалықты әділ екенін анықтау үшін 1971 жылы бірінші 4004 микропроцессоры пайда болған сәттен бастап Intel корпорациясының микропроцессорлар кристалындағы транзисторлар санының (мың дана бірлігінде) өсу динамикасы туралы түсінік беретін деректерден пайдаланылған. Деректер Intel корпорациясының процессорларды әзірлеудің отыз жылдық кезеңін қамтиды. Мақалада осы деректер сызықты емес регрессия, сплайндық интерполяция әдістері арқылы өңделіп, Мур заңының қаншалықты дұрыс екендігіне жан-жақты талдау жасалған. Деректердің өзгеру динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жүйесі сәйкес шекаралық шарттарда Mathcad компьютерлік математика жүйесі ортасында шешімін тапқан және графикалық түрде бейнеленген. Құрылған қолданбалы бағдарламаларды инженерлік, ғылыми-техникалық есептеулерде кеңінен қолдануға болады.

Түйін сөздер: Мур заңы, микропроцессор кристалы, транзистор, регрессия, интерполяция, компьютерлік модельдеу, Mathcad жүйесі.

Кіріспе. Мақалада ақпараттық техниканың даму құбылысын Мур заңы [1,2] арқылы сипаттау үшін Mathcad компьютерлік математика жүйесі [3-6] ортасында алғаш рет қолайлы қолданбалы бағдарламалар құрылған. Бұл бағдарламаларда көрнекілік үшін компьютерлік графика кеңінен қолданылған. Құрылған қолданбалы бағдарламаларды инженерлік, ғылыми-техникалық есептеулерде кеңінен қолдануға болады.

Эмпирикалық Мур заңы келесі дәрежелік (экспоненциалды) өрнекпен беріледі:

$$F(y, N, y_u) = N - 2 \frac{y}{y_u}$$

Бұл жерде N – y жылы кристалдағы транзисторлардың саны, $F(y)$ – y жылдан кейін кристалдағы транзисторлар саны және y_u – транзисторлар саны екі есе артатын

* E-mail корреспондирующего автора: kemel_zhan@mail.ru

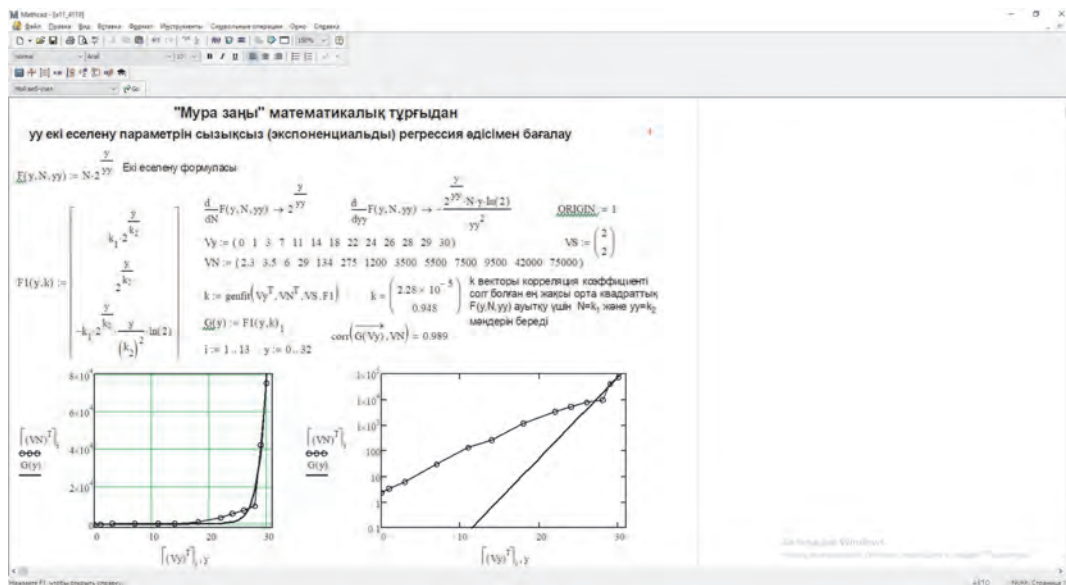
мерзім (жыл және жыл үлесі). Пайдаланылатын деректер Intel корпорациясының процессорларды әзірлеудің отыз жылдық кезеңін қамтиды және жасалған Intel бұйымдарының ішінен тек шағын іріктеуді ғана ұсынады. Бұл деректер төменде 1-кестеде келтірілген. Берілген 1-кестенің деректері таң қаларлық әсер қалдырады. Бірақ олар ұсынылған формулаға қаншалықты сәйкес келеді? Осы сұрақтарға жауап беруге тырысамыз. Өкінішке орай, бұл кестелердің деректері уақыт (жылдар) бойынша біркелкі емес үлестірілген және едәуір дәрежеде кездейсоқ, бұл сызықтық емес регрессияның қарапайым әдістерін және Mathcad жүйесіндегі predict функциясы сияқты сызықтық (ізделінетін параметрлерге қатысты) болжамның қарапайым функцияларын қолдануға кедергі келтіреді. Мұндай түрдегі сызықтық емес регрессия Maple сияқты компьютерлік математиканың шебер жүйелерінде де іске асырылмаған. Бірақ, қуанышымызға орай, Mathcad жүйесінде үлкен есептеу қателіктерін және 10^{308} -ге дейінгі шектік мәні бар сандармен жұмыс істей алатын жүйенің разрядтық торының толып кету мүмкіндігін санамағанда, оны өткізу ешқандай кедергі тудырмайды.

1-кесте

Микропроцессор түрі	Транзисторлер саны(мың)	Шығарылған жылы	у параметрі
4004	N0 = 2,3	1971	0
8008	3,5	1972	1
8080	6	1974	3
8088	29	1979	8
286	134	1982	11
386	275	1986	15
486	1200	1989	18
Pentium	3500	1993	22
Pentium PRO	5500	1995	24
Pentium II	7500	1997	26
Pentium III	9500	1999	28
Pentium 4	42000	2000	29
Pentium 4 M	75000	2001	30

Әдістер мен материалдар. Сәйкес шекаралық шарттары бар бірінші ретті жай дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешу үшін Mathcad ортасының сандық әдісі, ал тәжірибелік деректерді өңдеу үшін оның регрессия, интерполяция әдістері және алынған нәтижелерді графикалық түрде бейнелеу үшін оның графикалық мүмкіндіктері қолданылды.

Нәтижелер мен оларды талқылау.



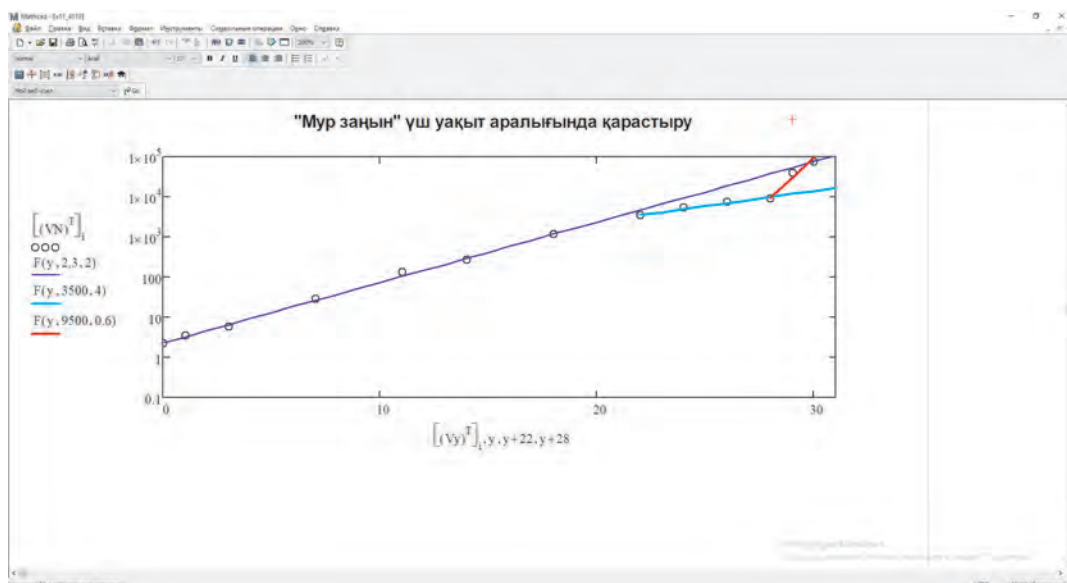
Сурет 1 – Intel корпорациясының процессоры кристалындағы транзисторлар санының уақыт бойынша артуын сипаттайтын тәуелділік үшін сызықты емес регрессия

1-суретте Мур заңының математикалық иллюстрациясы бар Mathcad жүйесінің бағдарламасы ұсынылған. Бағдарламаның сол жақ жоғары бұрышында Мур заңының формуласы берілген және аналитикалық түрде оның N және $уу$ ізделінетін параметрлері бойынша дербес туындылары есептелген. Содан кейін сызықсыз регрессия алгоритмін орындауға қажет функция және оның туындыларынан құралған $F1$ векторлары, 1971 жылдан бастап өткен жылдар саны Vy , процессор кристалындағы мың дана бірлігіндегі транзисторлардың саны VN берілген. Осы деректерді пайдаланатын $genfit$ функциясы арқылы $N0$ және $уу$ параметрлері есептелген. Регрессия дәлдігіне қатты әсер ететін бастапқы шарттар VS векторымен беріледі және ол параметрлер N мен $уу$ -тің бастапқы мәндерін (мың данамен) қамтиды.

Сол жақтағы график транзисторлар санының сызықтық масштабта $уу$ параметрінің (екі еселену уақыты) функциясы ретінде көрсетеді. Бұл ретте есептеу графигі экспоненциалды түрден аумайды. Ол өткен ғасырдың 90-жылдарынан бастап микропроцессорлардағы транзисторлар санының күрт өсуін көрсетеді. Осы уақытқа дейін графиктегі өзгеріс тым аз. Есептеу графигі логарифмдік масштабта қызықты көрінеді (төменгі оң жақта). Ол түзу сызыққа айналады, оның көлбеуі $уу$ параметрімен анықталады. Шамамен алғашқы 20 жыл ішінде есептеу графигі мен нақты деректердің нүктелері бойынша құрылған график іс жүзінде параллель жүріп жатыр, бұл осы уақыт бойы Мур заңының әділдігін куәландырады. Көрініп тұрғандай, микропроцессорлардағы транзисторлардың нақты саны есептеу санынан біршама көп. Табылған $уу$ уақыты 1,769 жылды құрады, яғни транзисторлар санының екі есе өсуі шамамен әр екі жылда болды. Алайда 22 және 28 шартты даму жылдары аралығында (немесе 1993-

1999 жж. аралығында) кристалдағы транзисторлар санының өсу қарқынында айқын тұрақты құлдырау байқала бастады. Ол нақты деректер нүктелерінің біртіндеп төмен ауытқуынан көрініп тұр. Алғашқы 20 жылдан сәл астам уақыт процессорлардың дамуы 4004 процессорынан Pentium-ге дейінгі микропроцессорлар технологиясының эволюциялық даму жолына сәйкес келді. Pentium процессорларының пайда болуына байланысты архитектура мен процессорлардың күрделілігі күрт өсті, атап айтқанда мультимедиа командалары айтарлықтай ұлғайды. Кристалдағы транзисторлар саны бір миллион данадан асты. Нәтижесінде нақты технологияның Мур заңынан елеулі артта қалуы пайда болды. Осы кезеңде оның принципті әділдігіне күмән ерекше күшейді. Бірақ соңғы жылдары Intel корпорациясы жаңа архитектуралы Pentium 4 микропроцессорларын шығаруға көшу арқылы технологияны күрт жетілдіруге қол жеткізді. Сонымен, Мур заңының математикалық талдауы Мур тәуелділігінің әділдігін растайды. Рас, транзисторлар санының уақыт бойынша экспоненциалды өсуі уу параметріне өте сезімтал екенін атап өту керек. Бір жылдан екі жылға дейінгі оның жуық мәндері қате есептеулерге әкеледі. Иә, мұндай тәуелділік үшін сызықтық емес регрессия процедурасы машиналық есептеулердің қателіктеріне өте сезімтал. Бұған бастапқы деректер немесе N мен u параметрлерінің бастапқы мәндерін аздап өзгерту арқылы көз жеткізу қиын емес. Бірге жақын корреляция коэффициенті $\text{corr} = 0.955$, N_0 мен u -тің алынған мәндерінде тәуелділік бастапқы деректер жұптарына біршама сәйкес келетінін көрсетеді. Сызықтық емес регрессияның өзіне тән ерекшелігі бастапқы есептеу аймағындағы үлкен қателік, яғни алғашқы жылдардағы есептелген N параметр мен алғашқы микропроцессорлардың кристалдарындағы транзисторлар санының нақты мәні арасындағы күрт айырмашылық болып табылады.

Бұл жетіспеушілікті келесі жолмен жоюға болады - логарифмдік масштабта түзу сызық графигінің сол жақ нүктесі ретінде бастапқы деректердің бірінші нүктесін алып, түзу сызықтың еңістігін бастапқы нүктелер жиынтығындағы ең жақсы позиция бойынша таңдау қажет. Бірінші 4004 микропроцессордың транзисторларының санының нөлдік жылы ретінде 1971 жылды және $N_0 = 2,3$ мыңды ескере отырып, біз Mathcad [7-9] көмегімен процессорлар дамуының алғашқы жылдарындағы мәліметтерге сәйкес келетін логарифмдік түзуді таңдауға тырысамыз және ол $(0, N_0)$ нүктеден басталады. Нәтижесі 2-суретте тұтас жіңішке сызықпен берілген. Процессорлар атауы графикалық редактордың көмегімен қойылған. Нәтиже таңқаларлық. 22 жыл ішінде транзисторлардың саны әр $u = 2$ жылда екі есе артты. Бұл жағдайда бастапқы нүктелер оларды көрсететін тәуелділікке шамамен сәйкес келеді. Осылайша, Intel мамандары жасаған Мур заңын түзету өте орынды және нақты болды. Алайда, Pentium класты процессорлардың пайда болуымен Мурдың түзетілген заңының өзі өрескел бұзылды. Осы кезеңнен кейінгі транзисторлар санының өсу шындығын жақсы түсіну үшін түзу сызықты таңдауға тырысайық, тірек нүктесі етіп Pentium процессорлары шыға бастаған уақытты, яғни $(22, 1200)$ деп аламыз. Екі еселену уақыты екі есе артып, $u = 4$ жылды құрады. Бұл микропроцессорлардың және олардың технологиясының дамуындағы дағдарыс жағдайының дәлелі болды. Бұл қандай-да бір дәрежеде Intel-дің келесі буын процессорларының жаңа атауларынан бас тартуын негіздейді - өздеріңіз білетіндей Pentium II және III бесінші ұрпақтың Pentium процессорларының керемет атауына деген көзқарасты сақтайды, бұл Мур заңында бұрылыс болды.

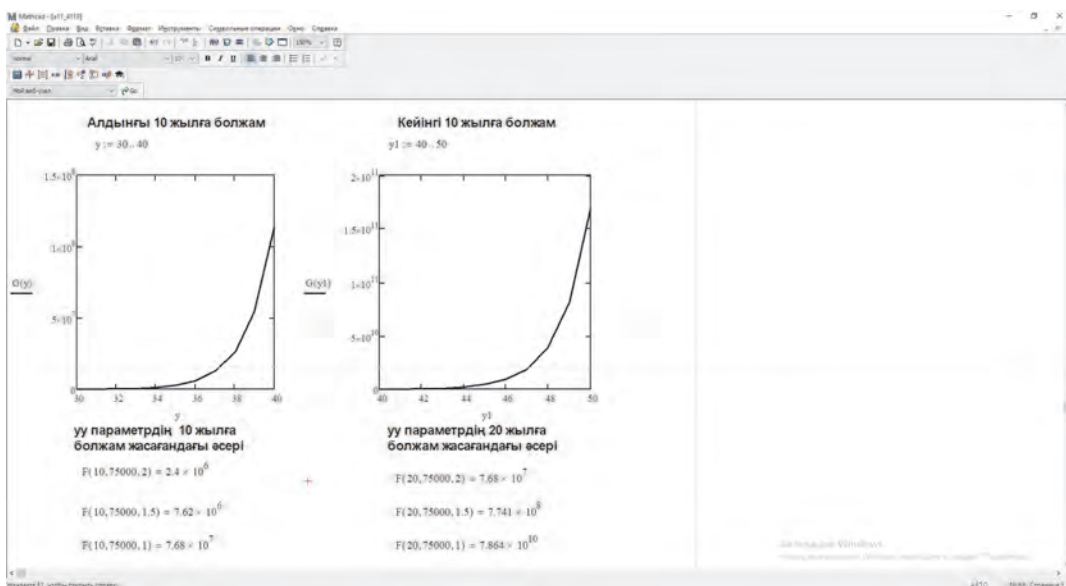


Сурет 2 – Мур заңын логарифмдік масштабта түзудің кесінділері ретінде көрсету нәтижесі

Алайда, өздеріңіз білетіндей, өнеркәсіптегі құлдырау кезеңі әрдайым күрт көтерілу кезеңімен, ал одан әрі құлдырау кезеңімен ауысып тұрады. 1999 жылы Pentium III процессорын шығарудан Pentium 4 процессорын шығаруға өтуге байланысты транзисторлар санының уақыт бойынша өсу графигі (28, 9500) нүктеден бастап күрт жоғарылады. Бұл, әрине, процессорлардың күрделігіне, Интернетті қолдаудың жаңа командаларының пайда болуына байланысты. Өсудің екі еселенген уақыты 0,6 жылға, яғни рекордтық төмен мәнге дейін қысқарды, бірақ оны бағалау 1999 жылдан кейінгі деректерді іріктеу мөлшерінің аздығына байланысты математикалық тұрғыдан өте сенімді емес - бар болғаны 3 нүкте.

Жалпы алғанда, микропроцессорды дамытудың бүкіл отыз жылдық кезеңінде уу параметрін орта есеппен алғанда, сызықтық емес регрессия деректері өте дұрыс деп тануға болады. Біз Intel сарапшыларына ілесіп, Мур заңына негізделген микросхемалар кристалындағы транзисторлар санының өсуін болжауға тырысамыз. Бұл 3-суретте бірінші онжылдықта (сол жақтағы сурет) және келесі онжылдықта (оң жақтағы сурет) көрсетілген. Алғашқы он жылға болжам біршама нақты көрініс береді. Микропроцессорлардың микросхемаларында 3 миллиардқа дейін транзистор болуы мүмкін деп күтуге болады. Келесі онжылдықтағы болжам шындыққа қарағанда фантастика болып көрінеді. Соған қарағанда, 2020 жылға қарай кристалдағы транзисторлардың саны шамамен 140 миллиардқа жетеді! Өкінішке орай, мұндай болжамға күмәнданудың себептері жеткілікті. Математикалық тұрғыдан алғанда, олар Мур заңының екі есе өсу уақыты уу параметріне қатысты туындайды. 3-суреттің төменгі жағында Мур заңының формуласы бойынша 10 және 20 жылдық болжау кезеңдерінің соңында әр түрлі $y = 1; 1,5$ және 2 жылға есептелген мысалдар келтірілген. Бағалаудағы сәйкессіздік сәйкесінше шамамен 32 және 1000 еседен

асады! Бұл жағдайда болжамның дәлдігіне кепілдік берілмейді, ал Мур заңының тұжырымдары өте сақтықпен қолданылуы керек. Сонымен, Мур заңының тоқырау себебі-жүйелер дискретіден таратылған жүйелерге айналуы мүмкін. Нәтижесінде, өте қуатты жалғыз процессорларға қажеттілік жоғалады, ал Мур заңы математикалық мағынада нақтыдан едәуір өзгеше саннан сапаға ауысу туралы басқа заңға бағынуға мәжбүр болады. 2003 жылдың көктемінде Гордон Мурдың өзі оның заңын әрі қарай түзету қажет екенін мойындады. Атап айтқанда, мұндай түзету жаңа технологиялардың дамуына байланысты микросхемалар, атап айтқанда қысқа толқын ұзындығындағы рентген сәулелерін қолданатын электронды-ионды технологиялар өндірісінде қажет. Осы тәуелділікке қатысты болжамдар да сол жерде сипатталған.

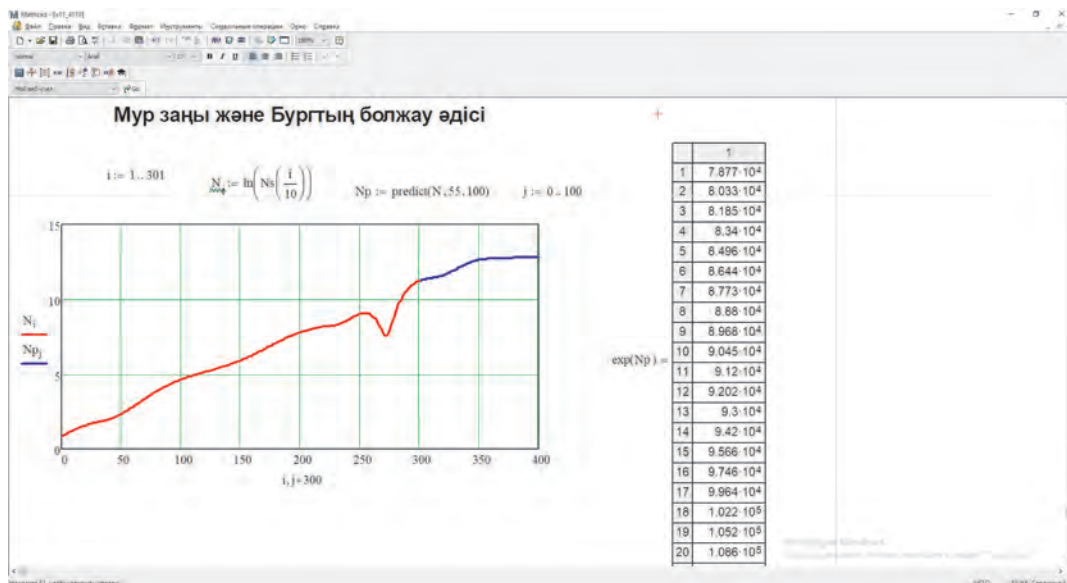


Сурет 3 – Сызықты емес регрессия деректері бойынша сәйкес бірінші және келесі он жылдағы микросхема кристалындағы транзисторлар санының өсуін болжау

Біз Мур заңына сәйкес деректердің болжамын жақсартуға тырысамыз және ол үшін өзін жақсы жағынан көрсеткен авторегрессиялық Бург әдісін қолдануға тырысып көреміз. Мұны жасау үшін деректерді алдын-ала сплайндармен интерполяциялап алу мүмкін. Мұнда жоғарыда келтірілген кестедегі деректер үш типті - сызықтық, квадраттық және кубтық сплайндардың жалғасымен интерполяцияланған. Тамашасы сол, интерполяциялау кесіндісінің ішінде оның қисық сызықтары бірігіп кетеді, яғни интерполяцияны сплайндардың кез келген типімен жүргізу мүмкін. Бұл табиғи нәрсе, өйткені кубтық сплайндар әрдайым интерполяция үшін қолданылады және тек олардың жалғасы ғана әртүрлі болуы мүмкін.

Осыған байланысты біз сплайндық интерполяцияны тек тең аралықтағы түйін нүктелері түріндегі деректер үшін авторегрессиялық Бург әдісін орындайтын predict функциясын [10-12] қолдану арқылы қажет нүктелер санын көбейтуде пайдаланамыз. 4-суретте осы біріктірілген әдіспен алынған болжамның қорытынды

графикалық тәуелділігі берілген. Бұл жағдайда болжам деректері өте қызықты. Мур заңы кем дегенде тағы 6-7 жыл бойы күшінде болатындығын көруге болады, бірақ осыдан кейін транзисторлар санының көбеюі тоқтайды. Бұл жағдайда кристалдағы транзисторлардың максималды саны 420 миллионға жетеді.



Сурет 4 – Бург болжау әдісімен Мур заңын болжау бағдарламасының нәтижесі

Қорытынды. Ақпараттық техниканың даму құбылысын Мур заңы арқылы сипаттау үшін Mathcad компьютерлік математика жүйесі ортасында алғаш рет қолайлы қолданбалы бағдарламалар құрылған. Бұл заңның қаншалықты әділ екенін анықтау үшін 1971 жылы бірінші 4004 микропроцессоры пайда болған сәттен бастап Intel корпорациясының микропроцессорлар кристалындағы транзисторлар санының (мың дана бірлігінде) өсу динамикасы туралы түсінік беретін деректерден пайдаланылған. Деректер Intel корпорациясының процессорларды әзірлеудің отыз жылдық кезеңін қамтиды. Мақалада осы деректер сызықты емес регрессия, сплайндық интерполяция әдістері арқылы өңделіп, Мур заңының қаншалықты дұрыс екендігіне жан- жақты талдау жасалған. Деректердің өзгеру динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жүйесі сәйкес шекаралық шарттарда Mathcad компьютерлік математика жүйесі ортасында шешімін тапқан және графикалық түрде бейнеленген. Құрылған қолданбалы бағдарламаларды инженерлік, ғылыми-техникалық есептеулерде кеңінен қолдануға болады.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Скоробов А. «Закон Мура» // Сайт математико-механического факультета УрГУ, 2005.
- 2 Цветков В.Я. Закон Мура и другие // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2017.-№1, часть2.-С.370-372

- 3 Дьяконов В. Компьютерная математика. Теория и практика. -М: Горячая линия - Телеком, 2001. - 115с. ISBN:5-89251-065-4
- 4 Ракин В.И. Руководство по методам вычислений и приложения Mathcad. -М.: Физматлит, 2005. - 264 с. ISBN 5-9221-0636-8
- 5 Макаров Е. Инженерные расчеты в Mathcad 15. Учебный курс. - СПб. : Питер, 2011. - 448 с. ISBN: 978-5-459-00357-4
- 6 Brent Maxfield. (2006). *Engineering with Mathcad: Using Mathcad to Create and Organize your Engineering Calculations*. Butterworth-Heinemann. ISBN: 9780080466941
- 7 Охорзин, В. А. Компьютерное моделирование в системе Mathcad / В.А. Охорзин. - М.: Финансы и статистика, 2006. - 144 с. ISBN 5-279-03037-6.
- 8 Philip Pritchard. (2008). *Mathcad: A Tool for Engineering Problem Solving*. McGraw-Hill Companies, Incorporated. ISBN: 9780073191850
- 9 Охорзин, В. А. Прикладная математика в системе Mathcad / В.А. Охорзин. - М.: Лань, 2008. -352с. ISBN: 978-5-8114-0814-6
- 10 Maxfield B. (2009). *Essential Mathcad for Engineering, Science, and Math ISE*. ISBN: 9780123748461
- 11 Maxfield B. (2013). *Essential Ptc(r) MathCAD Prime(r) 3.0: A Guide for New and Current Users*. Academic Press. ISBN: 9780124104105
- 12 David Randolph, Martin II. (2020). *Engineering Calculations with Creo Parametric and PTC Mathcad Prime*. Independently published . ISBN: 979-8649196673

REFERENCES

- 1 Skorobov A. "Moore's Law" // Website of the Faculty of Mathematics and Mechanics of the Ural State University, 2005
- 2 Tsvetkov V.Ya. Moore's law and others // International Journal of Applied and Fundamental Research.-2017.-№1, part2.-p.370-372
- 3 Dyakonov V. Computer Mathematics. Theory and practice. -M: Hotline - Telecom, 2001.- 115s. ISBN:5-89251-065-4
- 4 Rakitin V.I. Guide to Calculation Methods and Mathcad Applications. -М.: Fizmatlit, 2005.- 264 p. ISBN 5-9221-0636-8
- 5 Makarov E. Engineering calculations in Mathcad 15. Training course. - St. Petersburg. : Peter, 2011. - 448 p. ISBN: 978-5-459-00357-4
- 6 Brent Maxfield (2006). *Engineering with Mathcad: Using Mathcad to Create and Organize your Engineering Calculations*. Butterworth-Heinemann. ISBN: 9780080466941
- 7 Okhorzin, V.A. Computer modeling in the Mathcad system / V.A. Okhorzin. - М.: Finance and statistics, 2006. - 144 p. ISBN 5-279-03037-6.
- 8 Philip Pritchard. (2008). *Mathcad: A Tool for Engineering Problem Solving*. McGraw Hill Companies, Incorporated. ISBN: 9780073191850
- 9 Okhorzin, V.A. Applied mathematics in the Mathcad system / V.A. Okhorzin. - М.: Lan, 2008. -352с. ISBN: 978-5-8114-0814-6
- 10 Maxfield B. (2009). *Essential Mathcad for Engineering, Science, and Math ISE*. ISBN: 9780123748461
- 11 Maxfield B. (2013). *Essential Ptc(r) MathCAD Prime(r) 3.0: A Guide for New and Current Users*. Academic Press. ISBN: 9780124104105
- 12 David Randolph, Martin II. (2020). *Engineering Calculations with Creo Parametric and PTC Mathcad Prime*. Independently published . ISBN: 979-8649196673

**Е. А. НЫСАНОВ¹, Ж. С. КЕМЕЛЬБЕКОВА¹, А. Н. ЖИДЕБАЕВА²,
С. Е. КОЖАБАЕВ¹, А. У. КОРОКБАЕВ²**

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

²Университет дружбы народов имени А.Кватбекова, Шымкент, Казахстан

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПИСАНИЕ ЯВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКОНА МУРА

Во время разработки микропроцессоров Гордон Мур один из основателей корпорации Intel предсказал, что количество транзисторов в микросхеме микропроцессора со временем удвоится. Этот эмпирический закон задается простым степенным (экспоненциальным) выражением. Уточнение закона Мура на первый взгляд может показаться технической задачей. Но это совсем не так, он описывает социальные аспекты развития микроэлектроники, а не чисто технические законы. Поэтому оценка закона Мура представляет большой интерес для социологов, экономистов и людей, интересующихся историей и тенденциями развития современных информационных технологий. В статье для описания явления развития информационной техники с помощью закона Мура впервые были разработаны эффективные прикладные программы в среде системы компьютерной математики Mathcad. Для того, чтобы определить, насколько справедлив этот закон, мы использовали данные, дающие представление о динамике роста количества транзисторов (в тысячах штук) на микропроцессорном кристалле корпорации Intel с момента появления первого микропроцессора 4004 в 1971 г. Данные охватывают три десятилетия разработки процессоров Intel Corporation. Эти данные обработаны методами нелинейной регрессии и сплайн-интерполяции. На основе этих обработок сделан всесторонний анализ того, насколько корректен закон Мура. Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику изменения данных решена и графически отображена в среде системы компьютерной математики Mathcad при соответствующих граничных условиях. Разработанные прикладные программы могут быть широко использованы в инженерных, научных и технических расчетах.

Ключевые слова: закон Мура, микропроцессорный кристалл, транзистор, регрессия, интерполяция, компьютерное моделирование, система Mathcad.

**E. A. NYSANOV¹, ZH. S. KEMELBEKOVA¹, A. N. ZHIDEBAYEVA²,
S. E. KOZHABAEV¹, A. U. KOROKBAEV²**

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

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

COMPUTER SIMULATION AND DESCRIPTION OF THE PHENOMENON OF THE DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY USING MOORE'S LAW

During the development of microprocessors, Gordon Moore, one of the founders of Intel Corporation, predicted that the number of transistors in a microprocessor chip would eventually double. This empirical law is given by a simple power (exponential) expression. Refinement of Moore's law at first glance may seem like a technical problem. But this is not at all the case, he describes the social aspects of the development of microelectronics, and not purely technical laws. Therefore, the assessment of Moore's law is of great

interest to sociologists, economists and people interested in the history and development trends of modern information technologies. In the article, for the first time, effective application programs were developed in the environment of the computer mathematics system Mathcad to describe the phenomenon of the development of information technology using Moore's law. In order to determine how true this law is, we used data that gives an idea of the growth dynamics of the number of transistors (in thousands) on an Intel microprocessor chip since the introduction of the first 4004 microprocessor in 1971. The data covers three decades of development of Intel Corporation processors. These data were processed by non-linear regression and spline interpolation methods. Based on these treatments, a comprehensive analysis of how correct Moore's law is is made. The system of differential equations describing the dynamics of data changes is solved and graphically displayed in the environment of the Mathcad computer mathematics system under appropriate boundary conditions. The developed application programs can be widely used in engineering, scientific and technical calculations.

Key words: *Moore's law, microprocessor crystal, transistor, regression, interpolation, computer simulation, Mathcad system.*

Е. Т. РАМАЗАНОВ*, **С. Е. СИБАНБАЕВА**, **Н. В. КОРОЛЕВА**

Алматинский Менеджмент Университет, г. Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПО ПРИМЕРУ ЛОКАЛЬНОГО OLAP КУБА

В статье приводятся результаты исследования по разработке системы управления знаниями на предприятии на основе концепции управления знаниями. Рассмотрены догадки по функциональной схеме в концепции системы. Предложена схема системы по аналогии с локальным OLAP (online analytical processing) кубом. Построен эвристический алгоритм обнаружения знаний в данных. Приводится математическое описание алгоритма, основанного на методах логики первого порядка, продукционной модели представления знаний и методах обнаружения знаний в данных и интеллектуальном анализе. Данное исследование опирается на предыдущие работы по разработке методов извлечения знаний из данных, предложенный метод также применяет эталонные алгоритмы при построении формальной системы, которая при обработке таблиц формирует базу знания. Машина вывода выполняет роль формальной системы по К. Гедделю и проверяет утверждение(гипотезу) в полученном запросе от источника запроса. При этом в результате обработки запросов формируются поверхностные знания, продукция формальной логической модели. Показана принципиальная возможность построения локального «Knowledge» куба. Также в статье приводятся результаты работы алгоритма на известном примере анализа данных библиотеки Seaborn python, Таблицы «tips».

Ключевые слова: *системы управления знаниями, обнаружение знаний в данных и интеллектуальном анализе, логическое исчисление, исчисления логики предикат, интеллектуальные системы.*

Введение. В 80-90-х годах XX века американские, японские и западно-европейские экономисты М. Алави, Н. Бонтис, У. Букович, К. Вииг, Т. Дэвенпорт, И. Нонака, Г. Пробст, Й. Руус, К.-Э. Свейби, Х. Такеучи, Д. Тис, Л. Эдвинссон заложили концептуальные основы управления знаниями (Knowledge management). Сейчас эта концепция считается одной из инновационных подходов управления предприятием. Данной концепцией доказывается, что управление на основе принципов концепции приводит к развитию предприятия. В концепции также упоминается применение для некоторых процессов системы управления знаниями. Это информационная система. В частности, в работах Нонака и Такеучи или Давенпорта [1, 2] упоминается аналогичная информационная система. О системе управления знаниями говорится и в других источниках. Существуют попытки построения такой системы, например, в публикациях тех лет идет речь об архитектуре этой системе (Том Шорт, старший консультант по управлению знаниями в IBM Global Services). Следует отметить, что существуют и научные работы, например, как работа [3]. Однако, как показывает практика, предложенные решения не получили широкого применения. В настоящее время, с ростом интереса к совершенствованию аналитической деятельности предприятия, с одной стороны, и развитием научных идей и технологий в области построения информационных систем – с другой стороны, вопрос о разработке систем управления знаниями вновь может стать актуальным. Следует также рассмотреть такую систему, как инструмент

* E-mail корреспондирующего автора: ermekramazanovra@gmail.com

интеллектуального анализа данных предприятия, которая могла бы дополнять или проверять выводы анализа или визуализаций данных.



Рисунок 1 – Функциональная схема OLAP системы [4]

Зададимся вопросом о построении системы управления знаниями, которая, согласно той же концепции управления знаниями, может обнаружить «потенциально явные знания», преобразовывать их в «явные». В данной статье сосредоточим свое внимание на рассмотрении подхода по реализации такой системы. Обзор литературы показывает, что при разработке подобных систем задача обнаружения, обогащения базы «явных» знаний является основной задачей для систем управления знаниями. Речь идет об обеспечении процесса «комбинации явных знаний» в модели Нонака и Такеучи. Рассуждая на основе имеющегося обзора при проектировании функциональной схемы системы управления знаниями, можно заметить, что систему можно реализовать как экспертную систему, которая отличается от классической системы тем, что база знаний может обогащаться продукцией извлеченных из данных. Непосредственно из источников данных. На стороне взаимодействия с клиентом система введет себя как классическая экспертная система, отвечая на запрос. Наиболее удобной в такой интерпретации функциональная схема может быть схема локального OLAP куба. Как показано на рисунке 1, следуя догадке, функциональная схема системы может быть представлена по аналогии с локальным OLAP кубом (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Функциональная схема системы управления знаниями.

Как показано на рисунке, в рассматриваемой функциональной схеме ключевую роль занимает «Knowledge куб», которая по предположению согласуется с моделью Нонака и Такеучи[5] «комбинации явных знаний» должны порождать новые знания, утверждения полученные на основе существующих высказываний или данных, полученных из других источников, например, внешней базы данных.

Методы и материалы. Решения по построению системы управления знаниями мы сводим к построению интеллектуальной системы. При этом мы опираемся на работы в области применения методов обнаружения знаний в данных (KnowledgeDiscoveryinDataBasesandDataMining) и интеллектуальном анализе. В частности, опираемся на работы[6, 7], в которых построены эвристические системы с применением технологий обнаружения знаний в данных. Однако в таких работах извлечение знаний из таблиц основываются на определённом шаблоне формул предикат или логической формуле, которая требует конкретный тип структуры таблицы. Другими словами, метод проверяет строки таблицы с приведенной заранее известной формы гипотезы (логической формуле), с помощью которой извлекают строки из таблиц соответствующей этой логической формуле. В данной работе рассматривается комбинированный подход, который заключается в построении логических формул, утверждений на базе различных срезов таблицы. Сама интеллектуальная система выполняет роль формальной системы, которая состоит из множества аксиом и множества правил вывода. Становится очевидным, что элемент локального Knowledge куба – это тоже формальная система, которая обладает собственным множеством аксиом и правилами вывода.

Представим локальный «Knowledge» куб как формальную систему в логике первого порядка, на базе срезов таблиц. В функциональной схеме таблицы являются источниками базы знания, которая в нашем случае представляется множеством аксиом. Покажем общий подход извлечения утверждения из таблиц на основе срезов. Достаточно представить срезами формулы исчисления предикатов.

Пусть задана таблица $table(p_1, p_2, \dots, p_n)$, где p_i есть атрибут сущности таблицы. Тогда, представляя каждый атрибут предикатной в логике, мы можем построить множество аксиом формальной системы или базу знаний в функциональной схеме, предложенной выше:

$$\forall x P(x) \sim \{[table[table[p] * a], len(table[table[p] * a]) \approx len(table)]\} \quad (1)$$

$$\exists x P(x) \sim \{[table[table[p] * a], len(table[table[p] * a]) \neq 0]\} \quad (2)$$

$$P(x) \& Q(y) \sim \{[table[(table[p] * a) \& (table[q] * b)]\} \quad (3)$$

$$P(x) | Q(y) \sim \{[table[(table[p] * a) | (table[q] * b)]\} \quad (4)$$

$$\forall x \neg P(x) \sim \{[table[(table[p] * a)], sum(table[p] * a) \approx len(table)]\} \quad (5)$$

$$\exists x \neg P(x) \sim \{[table[(table[p] * a)], sum(table[p] * a) \neq 0]\} \quad (6)$$

$$\neg \forall x P(x) \sim \{[table[(table[p]! = a)], sum(table[p]! = a)! = 0\} \tag{7}$$

$$P(x) \rightarrow Q(y) = \neg P(x) | Q(y) \tag{8}$$

$$\forall x P(x) \rightarrow P(y), P(y) \rightarrow \exists x P(x) \tag{9}$$

Формула (8) следует из формул (4), (5) и (6). Следует отметить, что в формулах (1)–(9), символ a, b – агрегатные функции, $*$ – логическое выражение. В формулах (1)–(9) используются коды на языке python команды модуля pandas. x, y – экземпляры сущности таблицы.

Формулы (1)–(9) являются также основой для построения арифметики формальной системы по К. Гедделю, которые дают возможность перейти на уровень языка дедуктивной логики и строит логические выводы на основе интерпретатора правил. Здесь в основе интерпретатора лежит метод продукции и некоторые правила по типу *modus ponens*.

Приведем несколько примеров формул множества правил вывода.

$$\frac{\forall x P(x) \rightarrow \forall y Q(y), \forall x P(x)}{\forall y Q(y)}, \frac{\forall x P(x) \rightarrow \exists y Q(y), \forall x P(x)}{\exists y Q(y)} \tag{10}$$

$$\frac{F \rightarrow \exists x P(x)}{F \rightarrow \forall x P(x)}, \frac{\forall x P(x) \rightarrow F}{\exists x P(x) \rightarrow F} \tag{11}$$

Формула (11) представляет правила обобщения и конкретизации. Формула (10) и другие правила реализуются на основе модели продукции. Приведем пример сопоставления и срабатывания правила (10):

$$If len(table[(table[p] * a) \& (table[q] * b)]) > 0: print(' \exists y Q(y)') \tag{12}$$

Результаты и их обсуждение. В результате рассмотрения задачи построения системы управления знаниями нам удалось построить алгоритм интеллектуальной системы, которая может разрешить задачи предусмотренных в концепции управления знаниями предприятия. А именно, в части «комбинации явных знаний». При этом удалось предложить самостоятельную систему, которая может применяться в аналитической деятельности предприятия. Продуктом такой системы являются утверждения, сделанные на основе обработки таблиц и обнаружения в них знаний. Эти утверждения могут корректировать или дополнять выводы анализа, например, сделанных на основе интеллектуального анализа и визуализации данных. В результате исследования нам удалось построить алгоритм получения знаний из таблиц и построение логических выводов по запросам, в полной мере советующий функциональной схеме. Фрагмент алгоритма, реализующий один отчет локального куба, приводится в качестве примера на рисунке 3 а)–б). Здесь показаны примеры реализации формул (1)–(9), на основе языка Python применив модули Pandas и Prolog.

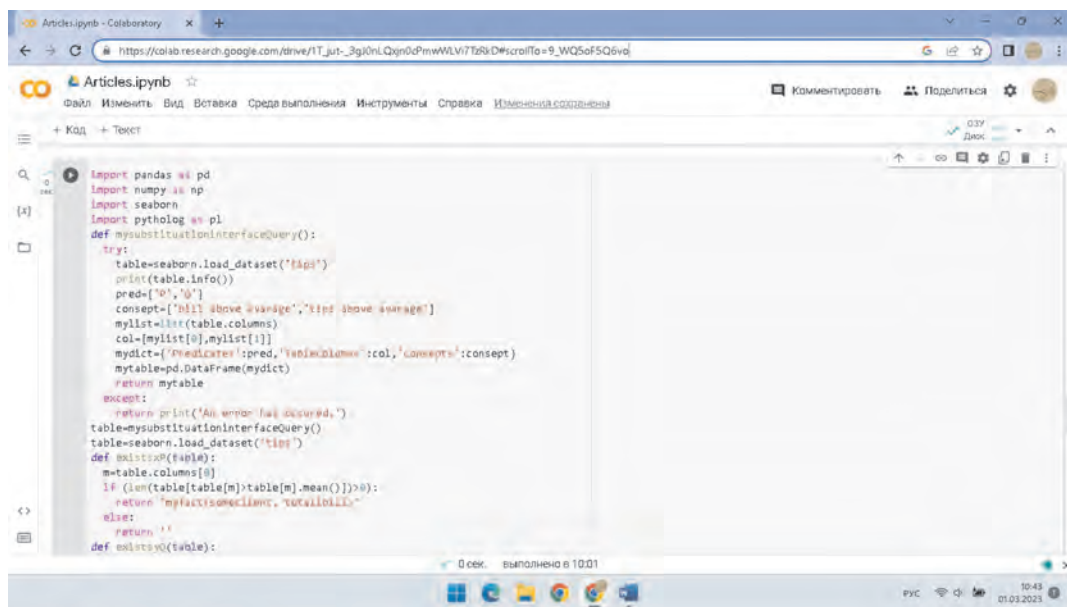


Рисунок 3 – Фрагмент работы алгоритма локального куба, а)

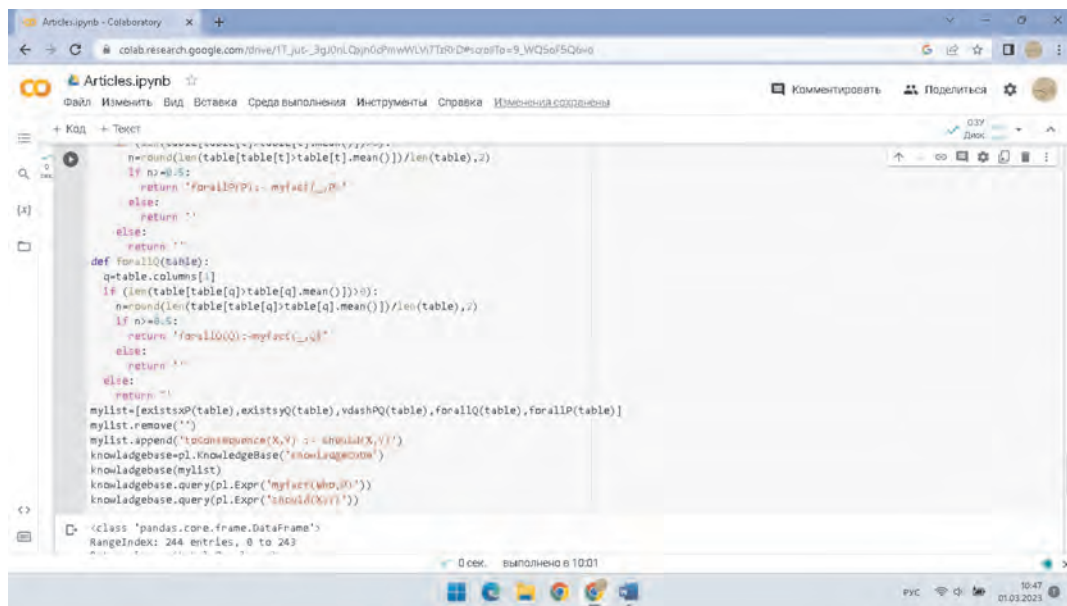


Рисунок 3 – Фрагмент работы алгоритма локального куба, б)

На рассмотренном этапе практическое применение «Knowledge» куба ограничена логикой первого порядка. Существует необходимость расширить модель представления знаний системы, применив методы нечеткой логики, а также возможно индуктивной логики. Следует также отметить необходимость графического интерфейса.

Алгоритм имеет возможность интегрировать в обработку запроса методы обработки естественного языка. Результаты исследования могут быть представлены как альтернативный источник выводов анализа данных, в основе которой лежит логическое исчисление.

Закключение. Полученные результаты исследования подтвердили начальные предположения о том, что предложенная архитектура системы управления знаниями разрешает ряд задач, которые были предусмотрены концепцией управления знаниями. Прототип также имеет потенциал применения в аналитической деятельности предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1 Nonaka, I. and Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, New York.

2 Davenport, T.H. and Prusak, L. (1998). *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Harvard Business School Press, Boston. DOI: 10.4236/ojbm.2016.42024

3 Тарабринс, Сергейс. Обзор по теме исследования «Моделирование системы управления знаниями на основе нейросети» / Сергейс Тарабринс. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2018. – № 22 (208). – С. 58-62.

4 Kebola(2022) Understanding OLAP Cubes – Logical Model and Metadata. Cubes 1.0 documentation, URL: <https://pythonhosted.org/cubes/model.html>.

5 Nonaka, I. and Takeuchi, H. (2016). The Effect of Intellectual Capital on Organizational Performance: The Mediating Role of Knowledge Sharing (Vol.9 No.1, December 7). *Communications and Network*, DOI: 10.4236/cn.2017.91001

6 Демин Александр Викторович, Витяев Евгений Евгеньевич Разработка универсальной системы извлечения знаний «Discovery» и ее применение // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. –2009. – №1– С. 35-40.

7 Пименов Виктор Игоревич, Воронов Михаил Владимирович, Пименов Илья Викторович Когнитивная визуализация классифицирующих правил, извлеченных из данных, на основе модели бинарной решающей матрицы // Информационно-управляющие системы. –2019. – №6(103) –С. 89-92

8 Doan, A., Naughton, J.F., Ramakrishnan, R., Baid, A., Chai, X. Chen, F., Chen, T., Chu, E., DeRose, P., Gao, B., Gokhale, C., Huang, J., Shen, W., Vuong, B.-Q. (2009). *Information Extraction Challenges in Managing Unstructured Data* (Vol. 37, No. 4.). *ACM SIGMOD Record*.

9 Shigarov, A.(2015) Table understanding using a rule engine (Vol. 42, No. 2.) *Expert Systems with Applications*.

10 Tijerino, Y., Embley, D., Lonsdale, D., Ding, Y., Nagy, G. Towards(2005) ontology generation from tables (Vol. 8, No. 3.). *World Wide Web: Internet and Web Information Systems*.

REFERENCES

1 Nonaka, I. and Takeuchi, H. (1995) *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, New York.

2 Davenport, T.H. and Prusak, L. (1998) *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Harvard Business School Press, Boston. DOI: 10.4236/ojbm.2016.42024

3 Tarabrins, Sergejs (2018). Obzor po teme issledovaniya «Modelirovanie sistemy upravleniya znanijami na osnove nejroseti» [Review on the topic of the study "Modeling a knowledge management system based on a neural network"] Molodoj uchenyj. № 22 (208), 58-62. (in Russian)

4 Kebola(2022) Understanding OLAP Cubes — Logical Model and Metadata. Cubes 1.0 documentation, URL: <https://pythonhosted.org/cubes/model.html>.

5 Nonaka, I. and Takeuchi, H. (2016). The Effect of Intellectual Capital on Organizational Performance: The Mediating Role of Knowledge Sharing (Vol.9 No.1, December 7). Communications and Network, DOI: 10.4236/cn.2017.91001

6 Demin Aleksandr Viktorovich, Vitjaev Evgenij Evgen'evich (2009) Razrabotka universal'noj sistemy izvlecheniya znanij «Discovery» i ee primenenie [Development of a universal knowledge extraction system "Discovery" and its application] Vestnik NGU. Serija: Informacionnye tehnologii. №1, 35-40. (in Russian)

7 Pimenov Viktor Igorevich, Voronov Mihail Vladimirovich, Pimenov Il'ja Viktorovich (2019) Kognitivnaja vizualizacija klassificirujushhih pravil, izvlechennyh iz dannyh, na osnove modeli binarnoj reshajushhej matricy [Cognitive visualization of classifying rules extracted from data based on a binary decision matrix model] Informacionno-upravljajushhie sistemy. №6 (103). 89-92. (in Russian)

8 Doan, A., Naughton, J.F., Ramakrishnan, R., Baid, A., Chai, X. Chen, F., Chen, T., Chu, E., DeRose, P., Gao, B., Gokhale, C., Huang, J., Shen, W., Vuong, B.-Q. (2009). Information Extraction Challenges in Managing Unstructured Data (Vol. 37, No. 4.). ACM SIGMOD Record.

9 Shigarov, A.(2015) Table understanding using a rule engine (Vol. 42, No. 2.) Expert Systems with Applications.

10 Tijerino, Y., Embley, D., Lonsdale, D., Ding, Y., Nagy, G. Towards(2005) ontology generation from tables (Vol. 8, No. 3.). World Wide Web: Internet and Web Information Systems.

Е. Т. РАМАЗАНОВ, С. Е. СИБАНБАЕВА, Н. В. КОРОЛЕВА

Алматы Менеджмент Университеті, Алмат , Қазақстан

БІЛІММЕН БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН ЛОКАЛЬДІ «KNOWLEDGE» КУБЫ РЕТІНДЕ ҚҰРУ

Мақалада өнеркәсіпте біліммен басқару жүйесін құрумен байланысты зерттеулер нәтижелері қарастырылған. Жүйеге қойылатын талаптарды Knowledge management концепциясының негізінде құрасырылған. Зерттеу кезінде жасалған эвристикалық алгоритмнің математикалық сипаттамасы келтірілген. Алгоритм деректерден білімді шығару әдістері және білімді құру моделінің негізінде программалық жабдықтың әдісі қарастырылған. Алгоритм кетселерден білімді шығарып, білім қорын формальді жүйе ретінде жасайды. Ережелер интерпретаторы гипотезаларды тексеріп, қортынды шығарады. Формальді жүйе К. Гедельдің аксиомалық теориялар сәйкес келеді. Жүйе өнімі формальді логикалық модельдің жұмысының нәтижесі. Алгоритм Python программалау тілінде жазылған. Мақалада локальді кубты құрудың концептілік негізі көрсетілген.

Түйін сөздер: *біліммен басқару жүйесі, деректерде жіне интеллектуалды талдауда білімді анықтау, шығару, логикалық есептеулер, предикат логикасының есептеулері, интеллектуалды жүйелер.*

E. T. RAMAZANOV, S. E. SIBANBAEVA, N. V. KOROLEVA

Almaty Management University, Almaty, Kazakhstan

DEVELOPMENT OF LOCAL «KNOWLEDGE» CUBE OF KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM

The article presents the results of a study on the development of a knowledge management system in an enterprise based on the concept of knowledge management. Considered guesses on the functional scheme in the concept of the system. A scheme of the system is proposed by analogy with a local OLAP cube. A heuristic algorithm for detecting knowledge in data is constructed. A heuristic algorithm for detecting knowledge in data is constructed. A mathematical description of the algorithm based on the methods of first-order logic, the production model of knowledge representation and methods of knowledge discovery in data and intellectual analysis is given. Based on previous studies on the development of methods for extracting knowledge from data, a combined method is proposed that, when processing tables, forms a knowledge base. The inference engine checks the statement (hypothesis) in the received request from the request source. The algorithm is written in Python.

Key words: *knowledge management systems, knowledge discovery in data and data mining, logical calculus, predicate logic calculus. intelligent systems.*

**Б. Ә. ТАЛПАКОВА*, Д. М. УЙПАЛАКОВА,
А. И. АКЖОЛОВА, Ж. Т. АЙТУГАНОВА**

*Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан
Balzhan_14@mail.ru, Dinara-007@bk.ru, Asel_zhalyn@mail.ru, zhamila_a77@mail.ru*

UNITY ОРТАСЫНДА КІРПШІ ОЙЫНДАРЫН ҚҰРАСТЫРУ

Қазіргі уақытта Unity 3D, UnrealEngine және CryEngine сияқты ойын платформаларында ойын әзірлеушілер арасында үлкен танымалдылыққа ие және осы сала индустриясында кеңінен қолданылады. Бұл ойын әзірлеуде сұраныстың жоғары деңгейде екенін көрсетеді.

Бұл мақалада қазіргі заманға сай және Unity платформасымен құрылған ойындардың артықшылықтары мен ерекшеліктері, ойын құрудың негізгі концепциялары, ережелері, бағдарлама құрылымы қарастырылған. Сонымен қатар құрылған ойын қосымшасын іске асыру үшін қолданылатын құралдарды таңдау негізделген. Осы сценарий аясында толық талдау жүргізілді, онда негізгі құрамдас элементтер, олардың өзара әрекеттесуі, деректер ағынының қызметтері анықталды. Unity платформасының көмегімен ойын қосымшасын жобалау және оны іске асыру толықтай сипатталады.

Бұл тәсілдің мақсаты - құрылған бағдарламалық өнімді қолдану бойынша нұсқаулар, бағыт бағдарлар берілген, сонымен қатар «Unity платформасының» интерфейсін сипаттау.

***Түйін сөздер:** компьютерлік ойын, Unity платформасы, ойын, классификация, мобильді құрылғылар, пазл.*

Кіріспе. Қазіргі уақытта жастар арасында ең танымал демалыс түрі компьютерлік ойындар, ол біздің өміріміздің ажырамас бөлігіне айналды. Виртуалды әлем бізге үлкен мүмкіндіктер ашады және де әртүрлі рөлдерді таңдауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, жыл сайын ойын жасаушылар жүздеген жаңа ойындар шығарады. Компьютерлік ойындар пайда болғаннан кейін бірден балалар мен ересектерге тигізетін зияны туралы әңгімелер пайда болды. Сол уақыттан бері бұл тақырыпта мыңдаған мақалалар жазылып, жүздеген зерттеулер жүргізілді, бірақ әлі күнге дейін нақты жауап жоқ. Көптеген ойындар ақыл-ойдың, зейіннің, реакцияның, кеңістіктік бағдар мен логикалық ойлаудың дамуына, монотонды жұмысқа оңай бейімделуге, ағылшын тілін үйренуге, картаны шарлауды үйренуге, әртүрлі адамдардың тәжірибесінен көптеген жаңа және қызықты оқиғаларды білуге, кеңістіктік жадты дамытуға және т. б. ықпал етеді.

XX ғасырдың аяғында қарқынды дамыған ғылыми-техникалық прогрестің жылдамдығы, компьютермен компьютерлік технологиялар сияқты заманауи ғажайыптың пайда болуына себеп болды. Компьютерлер дамыған сайын компьютерлік ойындар да көбейіп, адамдардың қызығушылығы арта бастады. Бүгінгі күні компьютерлік технология бағдарламашыларға жақсы графикасы және дыбыстық дизайны бар өте шынайы ойындарды жасауға мүмкіндік беретін жоғарғы деңгейге жетті.

Қазіргі таңда компьютерлік ойындарды балалар ғана емес, ересектер де ойнайтыны анық. Әдетте олар жұмыс уақытында да ойнайды. Қазір дербес компьютерлер

* E-mail корреспондирующего автора: Balzhan_14@mail.ru

барлық жерде таралған. Компьютерлік ойындарды ойнағанды ұнатпайтын бірде-бір бала жоқ шығар, кейбіреулер күндіз-түні ойнауға дайын. Ата-аналар, керісінше, компьютерлік ойындарды ойнауға тыйым салады немесе ойнауға өте қысқа уақытты белгілейді, бірақ олар кейде өздері де ойнауға қарсы емес.

Компьютерде пайдаланушыға ыңғайлы интерфейс және индикаторлардың орнына алфавиттік-сандық дисплейлер пайда болды. Алғашында ешқандай графикалық ұғым болмады, бұл адамдардың компьютерлерде жұмыс істеуіне еш кедергісін келтірмеді.

Компьютерлік графиканың және нағыз үй компьютерлерінің пайда болуымен ойын индустриясы тез өсті. Қазір ойын индустриясы дербес компьютер индустриясы тіректердің бірі болып табылады.

Әр ойдың өзіндік бір түйіні бар, ал егер компьютерлік ойындар болмаса, «компьютерлік революцияны» әлем танымас еді.

Материалдар мен тәсілдер. Компьютерлік ойын – бұл танымдық қызығушылықты ынталандырудан тұратын маңызды білім беру әлеуеті бар өмірлік және қиялдағы жағдайларды виртуалды кеңістікте еліктейтін пайдаланушы мен компьютердің дамытушылық және ойын-сауық өзара әрекеттесуінің бір түрі.

Бейне ойындарды платформаларға бөлудің негізгі санаттары белгілі бір ойынды қай құрылғыда іске қосуға болатынын көрсетеді. Егер пайдаланушыда ойынға арналған платформа болмаса, ппронда ол оны ойнай алмайды [1].

Дербес компьютер (ДК, ноутбук, нетбук)

Компьютерлер – бейне ойындардың негізгі платформасы. Компьютерлердің бастапқы міндеті күрделі ғылыми есептеулерді жүргізу болды, бірақ кейінірек олар электронды баспа машинасының рөлін, содан кейін ойын платформасының рөлін қамтыды. Ойынға бағытталуының арқасында дербес компьютерлер видеокарталарды, дыбыстық карталарды, процессорлардың қуатын жылдамдығын арттырды, олар қазіргі уақытта фотореалистік графиканы көрсете алады.

Мобильді құрылғылар: телефон, планшет, қол компьютері (КПК, PDA)

Қалта дербес компьютерлері (PDA) немесе жеке цифрлық көмекшілер де ойын платформалары болып табылады. Төмен өнімділікке және шағын өлшемдерге байланысты кішігірім ойындар PDA - да жиі кездеседі.

Ұялы телефондар. Мобильді құрылғылар жұмыс үстеліндегі компьютерлерге қарағанда техникалық жағынан әлде қайда әлсіз, сондықтан мобильді ойындар қарапайым ойындарға қарағанда біршама қарапайым көрінеді, бірақ жағдай бірте - бірте жақсарып келеді. Көбінесе ұялы телефондарда 5-10 жыл бұрынғы компьютерлік ойындар жиі шығарылады. Ескірген телефондарда ойындар java қосымшаларында жасалған, ал қазіргі телефондарда ойындар мобильді ОЖ-да жұмыс істейді: Windows Mobil и Android. Мобильді ойындарды тарату үшін App Store, Google Play сияқты ғаламдық қосымшалар жасалды.

Планшет, сенсорлы ұялы телефон. Планшеттер мен телефондар сенсорлық енгізу мүмкіндігі бар жеке санат (экранда саусағыңызды басу арқылы). Арнай енгізу әдісі осы мүмкіндіктерді пайдаланатын бірегей геймплейі бар ойындарды жасауға мүмкіндік береді, мысалы, экранда сурет салу, ойындағы гравитацияны өзгерту үшін құрылғыны бұру және т.б.

Жанр бойынша классификациялау

Ойын жанры – бұл ұқсас ойын механикасы мен ұқсас ойын ережелері бар ойындар тобы. Ойын жанрларының көптеген түрлері бар және олардың әрқайсысы белгілі бір қасиеттермен сипатталады. Кез-келген ойын қандай жанрға жататынын түсіну үшін ойынды оның құрамдас бөліктеріне бөліп, олардың бір-бірімен байланысын анықтау керек. Ойындар 3 негізгі топқа бөлінеді: рөлдік, экшн, стратегия болып. Жоспарлау кезеңінде, схеманың әр элементін қарастыра отырып, болашақ ойын стратегиясының "Логикалық" экшн элементтері бар жанрына жатқызуға болады. Бұл ақпараттың шынайылығын тексеру үшін компьютерлік ойындарды жанр бойынша басқа бөлімдерін де қарастырамыз [2].

Ойынның белгілі бір жанрға жату критерийлері біркелкі анықталмағандықтан, компьютерлік ойындардың жіктелуі жеткілікті түрде жүйеленбеген және әртүрлі дереккөздерде белгілі бір жобаның жанры туралы мәліметтер әртүрлі болуы мүмкін.

Ойындардың таралу түріне қарай классификацияларын сипаттау

Ақылы ойындар. Физикалық тасымалдағыштағы ойын (дискілер, картридждер). Ойын индустриясы пайда болғаннан бері қолданылып келе жатқан ойынды таратудың классикалық әдісі. Физикалық тасымалдағыштар – картридждер (жады модульдері), әртүрлі типтегі дискілер: CD, DVD, BluRay. Ойын картридждері мен дискілері мамандандырылған компьютерлік және ойын дүкендері арқылы таратылады. Сондай-ақ ойын дискілеріне пошта арқылы, интернет-дүкендер арқылы тапсырыс беруге болады [4].

Ойынның сандық көшірмесі (интернет арқылы ойындарды сату). Интернет - технологиялардың дамуы және Интернет - кабельдердің өткізу қабілеттілігінің артуы ғаламдық желі арқылы үлкен көлемдегі файлдарды жүктеп алу мүмкіндігін дамытты. Саудагердің веб - сайтынан жүктелген ойынның көшірмесі цифрлық көшірме деп аталады. Мұндай сату процесі цифрлық тарату деп аталады.

Ойын уақыты үшін төлем. Кейбір жағдайларда ойынның көшірмесі емес, ойын уақыты сатылады. Ойынға жазылу кейбір онлайн ойындарда қолданылады. Әдетте, ойынға кіру айына бір рет төленеді.

Тегін ойындар. Шартты түрдегі тегін ойын (shareware). Біраз уақыт немесе алғашқы бірнеше деңгейде тегін ойнауға болатын ойындар. Толық ойынға қол жеткізуді ашу үшін оны сатып алу керек. Бұл демо - нұсқа идеясын дамытудың бір түрі (ойынның ақысыз нұсқасы). Айырмашылығы, бұл демонстрациялық нұсқадағыдай ойынның бөлігі емес, демо режимі уақытша ғана қосылған толық ойын. Ойынның бұл принципі өте ыңғайлы, ол ойыншыға алдымен ойынды бағалауға, содан кейін оны сатып алу-алмау туралы шешім қабылдауға мүмкіндік береді. Кездейсоқ ойындардың көпшілігі дәл осындай shareware принципіне сәйкес таратылады. Бүкіл ойынға қол жеткізу үшін бірден ашылатын көптеген бағдарламалар бар, бірақ ойын үшін ақша төленбесе, экранда жарнама немесе ойын авторларына қаржылық көмек сұрауы үнемі пайда болады.

Микротрансакциялармен тегін ойын (free to play, free2play) (ММО ойындарының көп бөлігі). Интернетте тегін жүктеп алуға болатын ойындар - бұл ешқандай шектеусіз орнатуға және ойнауға болатын ойындар. Ешкім төлемді талап етпейді. Бірақ, ойында нақты ақшаға қосымша заттарды, бонустарды, жақсартуларды, ойын валютасын

сатып алу мүмкіндігі бар. Сонымен қатар, геймплей көбінесе ойынға нақты ақша жұмсау арқылы жұмсалған ойыншы (қайырымдылық) қарапайым ойыншылардан артықшылыққа ие болатындай етіп орнатылады.

Тегін ойын (флеш-ойын, браузерлік ойын, жүктелетін ойын). Ойын үшін ақы төлеудің қажеті жоқ. Бұл әдетте ешкім ақша жұмсамайтын сапасы төмен ойындар. Бірақ кейде толығымен тегін таратылатын лайықты ойындар бар.

Нәтижелер мен талқылау. Бұл жұмысты жобалау нәтижесінде ойын қосымшасының UML-диаграммасы жасалды. Unity - бұл Windows, Linux және OS X операциялық жүйелерінде жұмыс істейтін екі және үш өлшемді қосымшалар мен ойындарды дамыту құралы болып табылады. Unity көмегімен жасалған қосымшалар Windows, OS X, Windows Phone, Android, Apple iOS, Linux операциялық жүйелерінде, сондай-ақ Wii, PlayStation 3, PlayStation 4, Xbox 360, Xbox One және MotionParallax3D ойын консольдерінде жұмыс істейді [3].

Unity 3D жобасының архитектурасы Entity Component-System үлгісіне негізделген. Осы үлгіге сәйкес бағдарлама функционалдығы мамандандырылған компоненттердің көмегімен кеңейтілетін негізгі нысандардан тұрады.

Unity 3D жобасы бірнеше көріністерден (Scene) тұрады, оларда ойын нысандары (GameObject) оларға құрамдас бөліктері (Component) орналасқан. Әрбір ойын объектісі міндетті бір объектінің сахнада орналасуына жауап беретін Transform компонентінен тұрады. Сонымен қатар, дайын компоненттерді де (мысалы, физикалық модельдеуге жауапты RigidBody) және жеке компоненттерді де қосуға болады. Unity3D-де тікелей бағдарламалау, ең алдымен, құрамдас бөліктер ретінде ойын объектілеріне қосылатын жеке кластарды жобалаудан тұрады. Барлық осындай кластар MonoBehaviour клаcынан мұра болуы керек. Бұл қатынасты көрсету диаграмманы едәуір ауырлатады, сондықтан құрамдас бөліктерді белгілеу үшін олардың атауларына «Script» жұрнағы жалғанады [5].

Қосымшаға қойылатын талаптарды талдау барысында пайдалану нұсқаларының UML-диаграммасы әзірленді (1 - сурет).



1 сурет – Ойын қосымшасының құру диаграммасы

Қосымшаның келесі күйлері анықталды.

"Мәзір" – ойын қосымшасының алғашқы бөлімі. Оған кірген кезде негізгі мәзір ашылады және ойын параметрлерін өзгерту қол жетімді болады. Ойыншы команда-сынан кейін "ойынның басталуы" бөліміне ауысуы жүзеге асырылады.

"Ойынның басталуы" – бұл бөлімге өту кезінде ойынға қажетті нысандар іске қосылады. Келесі бөлімге өту ойын нысандарын баптағаннан кейін автоматты түрде жүзеге асырылады.

"Ойын" – ойын қосымшасы осы бөлімде болған кезде, ойыншы ойын алаңында пазылдарды басқара алады. Жеңген кезде келесі этапқа көшу жүзеге асырылады.

"Ойынның соңы" – осы бөлімге өткен кезде ойын нәтижелері сақталады, ойын объектілері жойылып, "мәзір" бөліміне ауысады.

Бағдарламалық жасақтама жүйесінің соңғы бөлімі қарастырылмаған, өйткені ойын қосымшасы ойыншы кез-келген уақытта онымен жұмысты аяқтауға шешім қабылдауы мүмкін деп есептелуі керек [6].

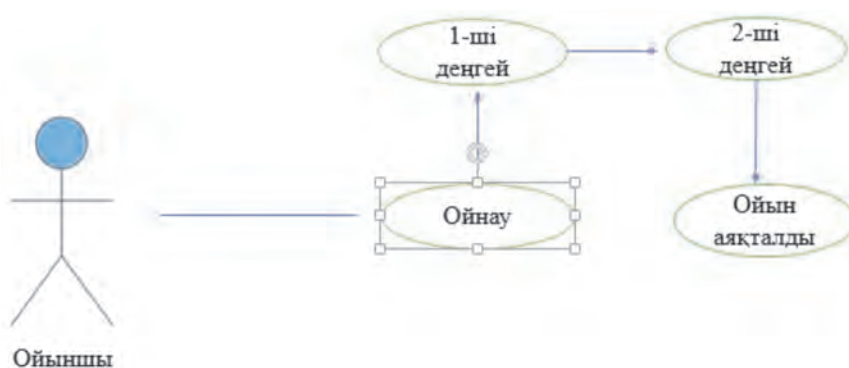
Ойын бір ойыншыны пайдалануға арналған (2-сурет). Ойыншы алмаздарды басқарады. Кірпіш ойын алаңында тігінен қозғалатын ойыншы басқаратын объект. Ойынды басқару пернетақта көмегімен жүзеге асырылады. WS пернелерды (жылжыту), тышқанның бағытын (пазыл бағытын бұру) сол жақ батырмасы басу арқылы басқару.

Негізгі мәзірде ойыншы келесі әрекеттерді орындай алады.

Бағдарлама параметрлерін өзгертіңіз: ойын қолданбасында музыка мен эффекттердің дыбысы, музыка мен эффекттерді өшіру мүмкіндігі болуы керек.

Ең жақсы нәтижені қараңыз: ойын барысында ойыншы ойын соңында сақталатын ұпайларды жинайды. Жаңа ойынды бастамас бұрын, ойыншы ең көп ұпай жинағанын көруі керек.

Ойынды бастау: ойынға кірісу.

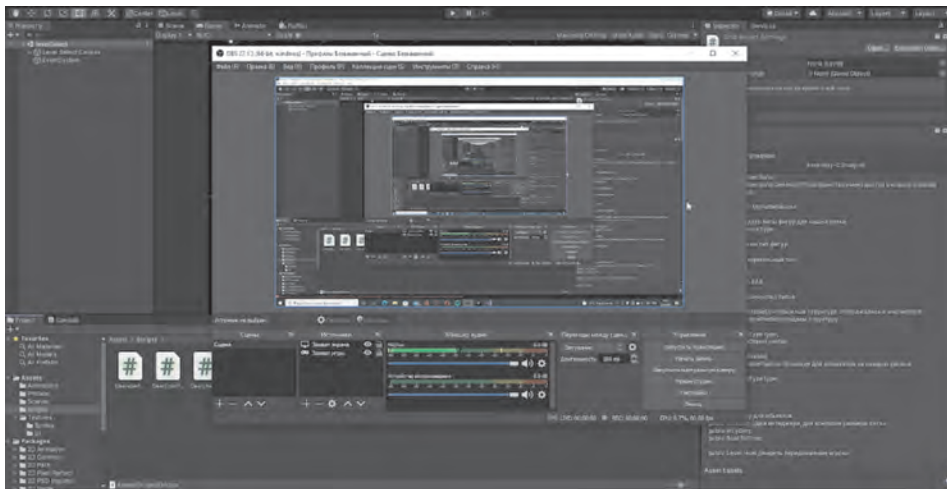


2 сурет – Бағдарлама құру алгоритмі

Ойын барысында ойыншы пазылды экранның сол жағында орналасқан ойын алаңына жоғары және төмен қарай жылжыта алады. Фонның оңнан солға тұрақты қозғалуының нәтижесінде жазықтық бойымен алға қозғалуының әсерінен бірінші деңгейді аяқтайды. Бірінші деңгейді сәтті аяқтағаннан кейін ойынның екінші деңгейін ойыншы ойнай алады. Екінші деңгейде де ойыншы ұқсас па-

зылдарды жинау және алдынан шыққан кедергілерден өту арқылы ойынды сәтті аяқтай алады.

Ойын қолданбасы екі көріністен тұрады: мәзір және ойын алаңы. Ойын өрісі объектілерінің иерархиясы 3-суретте көрсетілген. Ойын нысандарын шартты түрде үш санатқа бөлуге болады: объектілерді құруға және жоюға жауапты (LevelSelect, LevelSelect Canvas, Event System), графикалық интерфейс (Canvas және кірістірілген нысандар) және ойын өрісі (фон, ортаңғы, алдыңғы және кірістірілген нысандар).



3 сурет – Ойын көрінісінің иерархиясы



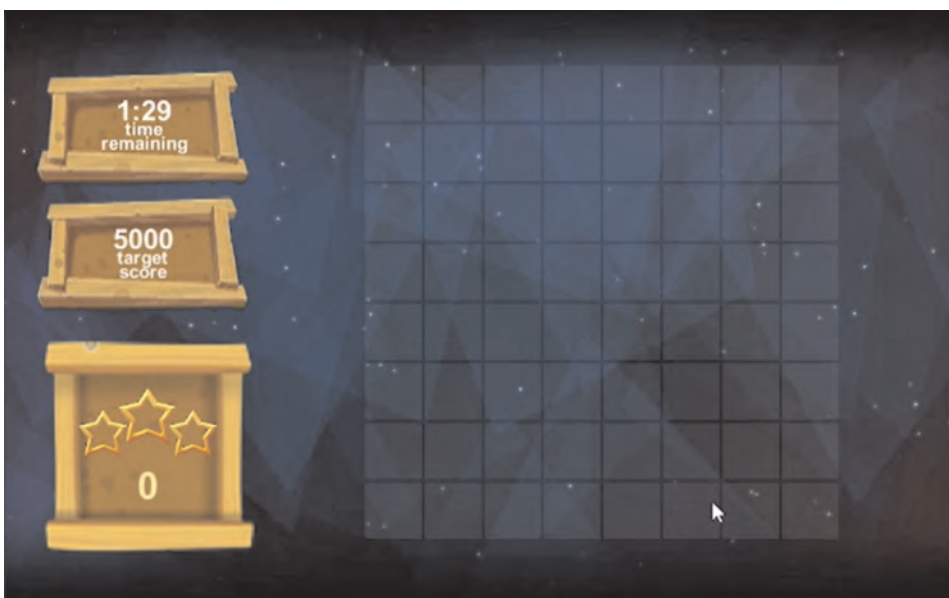
4 сурет – Ойынның интерфейсі

Ойын қосымшасында эффектер жүзеге асырылады: жарылыс және ұқсас кірпіштерді жою кезінде, сондай-ақ кедергілерге тиген кезде жойылады.

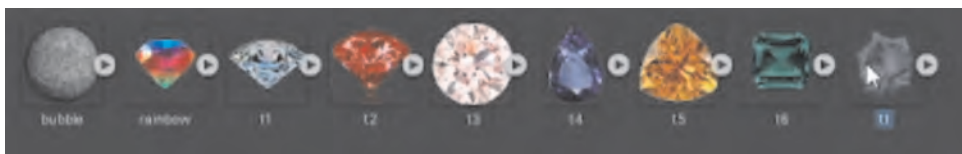
Жарылыс пен ұқсас кірпіштерді жою кезіндегі әсері бөлшектердің көмегімен жүзеге асырылады. Бөлшектер - қысқа уақыт ішінде қайталанатын және көрсетілетін қарапайым спрайттар.



5 сурет – Кірпіштерді пайда болу кезіндегі эффект көрінісі



6 сурет – Кірпіштерді жою кезіндегі эффект көрінісі



7 сурет – Аниматорда пайдаланатын алмаздар құрылымы

Бұл эффектілердің барлығы анимацияның көмегімен жүзеге асырылады. Эффектердің барлығы анимация контроллері көмегін қолдана отырып жасалынды.

Ойын қосымшасы бір ойыншы ойнауға арналып жасалған. Ойын, ойын алаңынан басталады, оның сол жағында басқарылатын объект орналасқан. Оңға, солға, жоғары, төменге, ойыншының таңдауымен қозғала алатын алмаздармен басқарылады. Ойыншының мақсаты - ойыншыға қарай қозғалатын кедергілерді жою арқылы мүмкіндігінше көп ұпай жинау. Ойыншының алдынан шыққан кедергілерден өте отырып, ұпай жинап, ұқсас алмаздарды жойып жеңіске жете отырып ойынды аяқтау.

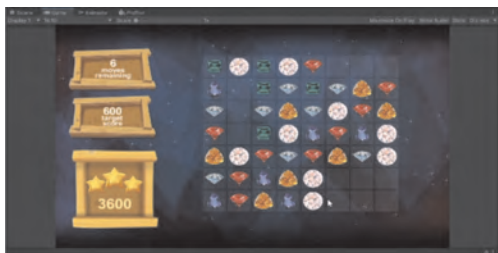
Ойын барысында ұқсас пазылдарды жоюдың нәтижесінде ұпай жинай отырып ойыншы алдыға қарай жылжиды. Ойын басталғаннан 10-15 секунд өткеннен кейін ойыншының алдынан шыққан кедергілерді жоюға мүмкіндік береді.

Ойынның барысы 2 деңгейден тұрады.

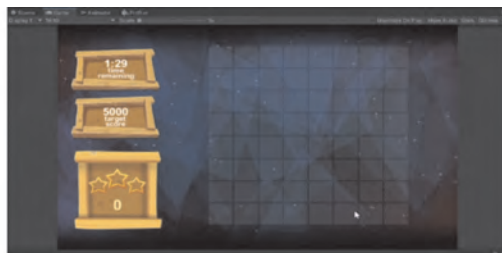
1 – деңгейде ойынға 6 жүріс, 600 алмаз берілген. Ойын арқылы бүкіл кедергілерден өте отырып және де ұпай жинай келесі деңгейге көшу (8-сурет).

2 – деңгейде белгілі бір уақыт берілген сол уақыт аралығында 5000 алмазды жоя және де ұпай жинау арқылы жеңіске жетіп ойынды аяқтау (9-сурет).

Егер ойыншы белгіленген уақытта кедергілерде жойып тиісті алмаздарды жинай алмаса, онда кері қайту батырмасы арқылы ойынды басыннан бастайды.



8 сурет – Алмаздар жоя арқылы ұпай санын арттыру



9 сурет – 2-деңгей көрінісі



9 сурет – Ойынды жанарту.

Қорытынды. Қазіргі компьютерлік ойындар ХХІ ғасырдағы ақпараттық аудио-визуалды технологиялардың қарқынды дамуының жарқын мысалы болып табылады. Жыл сайын компьютерлік ойындардың танымалдылығы артып келеді, балалар мен жасөспірімдер үшін жай ғана ойын-сауық болып қана қоймай, компьютерлік ойындарға қазіргі күнде көп адамдардың қызығушылығы арта түсуде. Заманауи компьютерлік ойындар көршілес қоғамдық және мәдени салаларға - өнерге, білімге, этикаға, психологияға, әлеуметтік коммуникацияларға және тіпті бірнеше жыл бұрын компьютерлік ойындар ресми түрде жаңа толыққанды спорт түрі ретінде танылды.

Бұл мақала барысында ойын қосымшаларын әзірлеу тәсілдері қарастырылды және компьютерлік ойындардың классификациясына талдау жасалды. Нәтижесінде пайдаланудың қарапайымдылығы мен өнімділігі, қолдау көрсетілетін платформалардың үлкен саны, қуатты кіріктірілген анимация жүйесі, қолдау алуға болатын үлкен қауымдастық сияқты қасиеттерге негізделген Unity платформасында ойын жобасын жасау ең тиімді нұсқасы болып табылады.

ӘДЕБИЕТ

1 В поисках хорошего дизайн-документа [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://dtf.ru/articles/read.php?id=1491> (дата обращения: 01.03.2016).

2 Жанры компьютерных и видеоигр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gamesisart.ru/janr.html> (дата обращения: 06.06.2016)

3 Классификация компьютерных игр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Классификация_компьютерных_игр (дата обращения: 12.03.2016).

4 Компьютерные игры как феномен современной культуры [Электронный ресурс] / УРФУ – Режим доступа: <http://media.ls.urfu.ru/219/643/1374/> (дата обращения: 23.01.2016).

5 Описание игрового движка Unity3D [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unity3dforge.com/> (дата обращения: 20.01.2016).

6 ТОП-10 игровых движков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://developerpro.ru/cozdanie-igr/48-luchshie-dvigki-dlya-igr-top10.html> (дата обращения: 20.01.2016).

REFERENCES

1 In search of a good design document [Electronic resource]. – Access mode: <http://dtf.ru/articles/read.php?id=1491> (access date: 03/01/2016).

2 Genres of computer and video games [Electronic resource]. – Access mode: <http://gamesisart.ru/janr.html> (access date: 06.06.2016)

3 Classification of computer games [Electronic resource]. – Access mode: https://ru.wikipedia.org/wiki/Classification_of_computer_games (date of access: 03/12/2016).

4 Computer games as a phenomenon of modern culture [Electronic resource] / URFU – Access mode: <http://media.ls.urfu.ru/219/643/1374/> (access date: 01/23/2016).

5 Description of the Unity3D game engine [Electronic resource]. – Access mode: <http://unity3dforge.com/> (date of access: 01/20/2016).

6 TOP 10 game engines [Electronic resource]. – Access mode: <http://developerpro.ru/cozdanie-igr/48-luchshie-dvigki-dlya-igr-top10.html> (access date: 01/20/2016).

**Б. А. ТАЛПАКОВА, Д. М. УЙПАЛАКОВА,
А. И. АКЖОЛОВА, Ж. Т. АЙТУГАНОВА**

Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан

СОЗДАНИЕ ИГР-ПАЗЛОВ НА ПЛАТФОРМЕ UNITY

В настоящее время Unity 3D, UnrealEngine и CryEngine очень популярны среди разработчиков игр на игровых платформах и широко используются в индустрии. Это показывает, что спрос на разработку игр высок.

В данной статье описаны преимущества и особенности современных игр, созданных на платформе Unity, основные понятия, правила и структура программы создания игр. Кроме того, обоснован выбор инструментов, используемых для реализации создаваемого игрового приложения. В рамках данного сценария был проведен полный анализ, в ходе которого были определены основные составляющие элементы, их взаимодействие и сервисы потоков данных. Подробно описано проектирование и реализация игрового приложения с использованием платформы Unity.

Целью данного подхода является предоставление инструкций и указаний по использованию созданного программного продукта, а также описание интерфейса платформы Unity.

Ключевые слова: компьютерная игра, платформа Unity, игра, классификация, мобильные устройства, пазл.

**B. TALPAKOVA, D. UIPALAKOVA,
A. AKZHOLOVA, ZH. AITUGANOVA**

Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

CREATE GAMES FROM PAZYL IN UNITY PLATFORM

Nowadays, Unity 3D, UnrealEngine and CryEngine are very popular among game developers on game platforms and are widely used in the industry. This shows that the demand for game development is high.

This paper describes the advantages and features of modern games created on the "Unity platform", the basic concepts, rules and structure of the game creation program. In addition, the choice of tools used to realize the created game application is justified. Within this scenario, a complete analysis has been carried out, in which the main constituent elements, their interaction and data flow services have been identified. The design and implementation of the game application using the Unity platform is described in detail.

The aim of this approach is to provide instructions and guidelines for the use of the created software product, as well as to describe the interface of the "Unity platform".

Key words: computer game, Unity platform, game, classification, mobile devices, pазl.

**Н. ТАСБОЛАТУЛЫ^{1*}, А. К. ЕРДЕНОВА^{1,2}, А. Е. НАЗЫРОВА^{1,2},
Г. Б. БАХАДИРОВА¹, С. С. АЛИШЕВА²**

¹Международный университет Астана, Астана, Казахстан;

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

¹tasbolatuly@gmail.com, ²erdenova_aigerim@mail.ru, ³ayzhan.nazyrova@gmail.com,

⁴gulnaz.bahadirova.84@mail.ru, ⁵sandu_alish@mail.ru

ГЛОБАЛЬНОЕ ПРАКТИЧЕСКОЕ ОТСЛЕЖИВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ КЛАССА НЕОПРЕДЕЛЕННЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ

В этой статье рассматривается проблема глобального практического управления выходных данных с помощью обратной связи по выходу для класса неопределенных нелинейных систем с изменяющейся во времени задержкой. Во-первых, однородный контроллер с обратной связью по выходу разработан для номинальной неопределенной по своей сути системы благодаря добавлению технологии силового интегратора. Затем с помощью соответствующего функционала Ляпунова-Красовского и наблюдателя пониженного порядка, используя подход однородного доминирования и добавляя метод интегратора мощности, успешно разрабатывается контроллер с обратной связью по выходу, гарантирующий, что все состояния замкнутой системы остаются ограниченными и одновременно делают ошибку отслеживания сколь угодно малой.

Ключевые слова: нелинейные системы управления, устойчивость по Ляпунову, обратная связь, математическое моделирование.

Введение. Проблема отслеживания выходных данных нелинейных систем привлекла большое внимание за последние десятилетия [1-16]. Из-за отсутствия общего и эффективного подхода к проектированию нелинейного наблюдателя отслеживание выходных данных с обратной связью для неопределенных изначально нелинейных систем является очень сложным по сравнению со случаем с обратной связью по состоянию. Поэтому разработка теории управления с обратной связью по выходу для решения этой проблемы шла относительно медленно. Многие исследования требуют точного знания нелинейных функций, которые необходимы для построения нелинейных наблюдателей. Когда нелинейные члены неизвестны, наблюдатели, предложенные в выше указанных работах, теряют свою актуальность. Чтобы справиться с неопределенными нелинейными членами, в исследовании [17] был разработан метод доминирования обратной связи для достижения глобальной стабилизации системы с обратной связью по выходу. В этой работе показано, что наблюдатель и контроллер могут быть сконструированы без знания нелинейностей, а глобальная стабилизация может быть достигнута при условии линейного роста.

В статьях [3, 5-7, 9-11] сообщается об отдельных результатах, которые помогают решить проблему отслеживания выходных данных с обратной связью для изначально нелинейных систем с помощью метода однородного доминирования, предложенного в [17]. Преимущество метода доминирования с обратной связью по сравнению с другими методами заключается в том, что контроллер и наблюдатель построены только

* E-mail корреспондирующего автора: tasbolatuly@gmail.com

на основе номинальной системы исследуемой нелинейной системы. Никакой точной информации о нелинейностях функции не требуется. Другими словами, один и тот же динамический контроллер может быть применен к различным нелинейным системам до тех пор, пока они удовлетворяют предположению в работе [17]. Это свойство позволяет иметь дело с нелинейными системами с неизвестными возмущениями. Недавно эта проблема была распространена на стохастические нелинейные системы и нелинейные системы с коммутацией высокого порядка [14-16].

В различных инженерных и физических системах и т.д. часто встречаются временные задержки. Тем не менее, в приведенной выше работах не рассматриваются последствия временных задержек. Как всем известно, явление временной задержки ухудшит производительность системы и даже окажет негативное влияние на стабильность системы. Поэтому очень важно исследовать проблемы стабильности или отслеживания выходных данных нелинейных систем с временной задержкой. В последние годы было довольно много докладов по вопросам стабилизации, но есть всего несколько ссылок, которые похожи на систему, рассмотренную в этом исследовании [18-27]. Существует не так много работ об исследованиях проблемы временной задержки управления с отслеживанием выходных данных по сравнению со случаем проблемы стабилизации. Недавно было получено несколько интересных результатов исследований по проблемам отслеживания выходных данных с помощью обратной связи по выходу [28-31].

В данной статье рассматривается проблема глобального практического отслеживания выходных данных с помощью обратной связи по выходу для класса неопределенных нелинейных систем с изменяющейся во времени задержкой. С помощью соответствующего функционала Ляпунова-Красовского и наблюдателя пониженного порядка, используя подход однородного доминирования и добавляя метод интегратора мощности, успешно разработан контроллер с обратной связью по выходу, гарантирующий, что все состояния системы с замкнутым контуром остаются ограниченными и одновременно делают ошибку отслеживания сколь угодно малой.

В данной статье мы рассматриваем класс неопределенных нелинейных систем с изменяющимся во времени запаздыванием следующего вида:

$$\begin{aligned} E_1(t) &= \alpha_i x_{i+1}(t)^{p_i} + \varphi_i(t, x(t), x_1(t - d_1(t)), \dots, x_n(t - d_n(t)), u(t)) \\ E_n(t) &= \alpha_n u(t) + \varphi_n(t, x(t), x_1(t - d_1(t)), \dots, x_n(t - d_n(t)), u(t)) \\ y(t) &= \alpha_0 x_1(t) - y_r(t) \end{aligned} \quad (1)$$

здесь $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))^T \in R^n, u(t) \in R$, и $y(t) \in R$ состояние, управление и выход системы, соответственно. $d_i(t) \geq 0, i = 1, \dots, n$ являются изменяющимися во времени задержками. $0 \leq d_i(t) \leq d_i$ константы для d_i , начальное состояние системы $x(\theta) = \varphi_0(\theta)$, $\theta \in [-d, 0]$ с $d \geq \max_{1 \leq i \leq n} \{d_i\} \cdot \varphi_i(\cdot), i = 1, \dots, n$, неизвестные непрерывные функции и $\alpha_i, i = 0, 1, \dots, n$ неизвестные константы. Предполагается, что единственным измеряемым сигналом в системе (1) является выходной сигнал $y \cdot p_i \in R_{odd}^{\geq 1}$.

Основной вклад этой работы можно выделить следующим образом: во-первых, рассматриваемые нелинейные системы являются неопределенными по своей сути

системами с изменяющимися во времени задержками. Из-за появления неопределенных по своей сути нелинейных членов и изменяющихся во времени задержек наблюдателя и функционалы Ляпунова-Красовского неприменимы к системе (1). Поэтому выбор подходящего функционала Ляпунова-Красовского и построение доступного наблюдателя – непростая работа. В этой работе мы вводим новый функционал Ляпунова-Красовского и используя подход однородного доминирования, преодолеваем ряд трудностей, возникших при анализе и проектировании, например, из-за нелинейных членов, не являющихся точно известными, или функционалом Ляпунова-Красовского. Кроме того, из-за многократных задержек, изменяющихся во времени, неизбежно возникнет множество более сложных нелинейных терминов. Во-вторых, для рассматриваемой системы предлагается контроллер обратной связи на выходе с наблюдателем с использованием рекурсивного подхода к проектированию, и гарантируется отслеживание выходных данных соответствующей системы с замкнутым контуром.

Обозначение: R^n обозначает действительное n -мерное пространство и $R^+ := [0, \infty)$. Для любого вектора $x := (x_1, \dots, x_n)^T \in R^n$, $\|x\|$ обозначает евклидову норму x . Функция $f: R^n \rightarrow R$ называется функцией C^k , если ее частные производные существуют и непрерывны до порядка k , $1 \leq k < \infty$. Функция C^0 означает, что она непрерывна. Функция C^∞ означает, что она гладкая, то есть она имеет непрерывные частные производные любого порядка. Кроме того, аргументы функций (или функционалов) иногда опускаются или упрощаются. Например, мы иногда обозначаем функцию $f(x(t))$ через $f(x)$, $f(\cdot)$ или f .

Определение и леммы.

Определение. Для действительных чисел $r_i > 0$, $i = 1, \dots, n$ и фиксированных координат $x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n$, $\forall \varepsilon > 0$

- $\Delta_\varepsilon^r(x)$ расширение определяется с помощью $\Delta_\varepsilon^r(x) = (s^r x_1, \dots, s^r x_n)$ для $\forall \varepsilon > 0$, что называется весами координаты. Для простоты определим вес расширения $\Delta = (r_1, \dots, r_n)$.

- Функция $V \in C(R^n, R)$ называется однородной степени m , если существует действительное число $m \geq 0$, такое, что $\forall x \in R^n / \{0\}$, $V(\Delta_\varepsilon^m(x)) = \varepsilon^m V(x_1, \dots, x_n)$.

- Векторное поле $f = (f_1, \dots, f_n)^T \in C(R^n, R^n)$ называется однородным степени m , если существует действительное число $m \in R$, такое, что для $i = 1, \dots, n$, $\forall x \in R^n / \{0\}$, $f_i(\varepsilon^r x_1, \dots, \varepsilon^r x_n) = \varepsilon^{m+r} f_i(x_1, \dots, x_n)$.

- Однородная p -норма определяется как $\|x\|_{\Delta, p} = (\sum_{i=1}^n |x_i|^{p/r_i})^{1/p}$, $\forall x \in R^n$ для константы $p \geq 1$. Для простоты выберем $p = 2$ и запишем $\|x\|_\Delta$ для $\|x\|_{\Delta, 2}$.

Лемма 1. Учитывая вес расширения Δ , предположим, что $V_1(x)$ и $V_2(x)$ являются однородными функциями степени m_1 и m_2 соответственно. Тогда $V_1(x)$, $V_2(x)$ по-прежнему является однородной функцией относительно того же веса расширения Δ . Более того, однородная степень $V_1(x)$, $V_2(x)$ равна $m_1 + m_2$.

Лемма 2. Предположим, что $V: R^n \rightarrow R$ является однородной функцией степени m относительно веса расширения Δ . Затем выполняется следующее:

(i) $\partial V / \partial x_i$ является однородным по степени $m - r_1$, причем r_1 является однородным весом x_i .

(ii) Существует такая константа $\bar{\sigma} > 0$, что $V(x) \leq \bar{\sigma} \|x\|_{\Delta}^m$. Более того, если $V(x)$ положительно определено, то $\bar{\sigma} \|x\|_{\Delta}^m \leq V(x)$ для константы $\bar{\sigma} > 0$.

Лемма 3. Для $x \in R$, $y \in R$ и $p \geq 1$ выполняется следующее:

$$|x + y|^p \leq 2^{p-1} |x^p + y^p|, (|x| + |y|)^{1/p} \leq |x|^{1/p} + |y|^{1/p} \leq 2^{(p-1)/p} (|x| + |y|)^{1/p}.$$

Если $p > 0$ нечетным целым числом, выполняется следующее:

$$|x - y|^p \leq 2^{p-1} |x^p - y^p|, |x|^{1/p} - |y|^{1/p} \leq 2^{(p-1)/p} |x - y|^{1/p}.$$

Лемма 4. Для $x \in R$, $y \in R$ и действительного числа $p > 0$ выполняется следующее: $|x^p - y^p| \leq p |x - y| |x^{p-1} + y^{p-1}| \leq c |x - y| (|x - y|^{p-1} + |y|^{p-1})$. Где $c = p$ для $1 < p \leq 2$ и $c = 2^{p-1}p$ для $p > 2$.

Лемма 5. Пусть x, y – вещественные переменные. Тогда для любых положительных вещественных чисел a, b, m и n выполняется следующее:

$$a |x|^m |y|^n \leq b |x|^{m+n} + \frac{n}{m+n} \left(\frac{m+n}{n} \right)^{-m/n} a^{(m+n)/n} b^{-m/n} |y|^{m+n}.$$

Постановка задачи, цели, история. Целью данной статьи является решение проблемы глобального практического отслеживания выходных данных с помощью контроллера обратной связи на основе наблюдателя для системы (1). Описание сформируем следующим образом.

Проблема глобального практического отслеживания с помощью выходной обратной связи: при любом заданном допуске $\varepsilon > 0$ конструкция контроллера выходной обратной связи имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{\zeta} &= \alpha(\zeta, y), \zeta \in R^m \\ u(t) &= g(\zeta, y) \end{aligned} \quad (2)$$

такие, что все состояния систем с замкнутым контуром (1) и (2) хорошо определены и глобально ограничены на $[0, \infty)$, и для любого начального условия $(x(0), \zeta(0))$ существует конечное время $T(\varepsilon, x(0), \zeta(0)) > 0$, что делает ошибку отслеживания систем (1) и (2) удовлетворяющей

$$|y(t) - |x_1(t) - y_r(t)| < \varepsilon, \quad \forall t \geq T > 0 \quad (3)$$

Методы исследования.

Для достижения поставленной цели необходимы следующие гипотеза.

Гипотеза 1. Для $i = 0, 1, \dots, n$ существуют положительные константы α и $\bar{\alpha}$ такие, что $\alpha \leq |\alpha_i| \leq \bar{\alpha}$.

Гипотеза 2. Существуют константы $C_1 > 0, C_2 > 0$ и $\tau \geq 0$ такие, что

$$\begin{aligned} & |\varphi_i(t, x(t), x_1(t-d_1(t)), \dots, x_n(t-d_n(t)), u(t)) \leq \\ & C_1 \left(\sum_{j=1}^i |x_j(t)|^{(r_i+\tau)/r_j} + \sum_{j=1}^i |x_j(t-d_j(t))|^{(r_i+\tau)/r_j} \right) + C_2 \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$r_1 = 1, r_{i+1} = (r_i + \tau)/p_i > 0, \quad i = 1, \dots, n \quad (5)$$

и $p_n = 1$.

Гипотеза 3. Временные задержки $d_i(t)$ дифференцируемы и удовлетворяют $0 \leq d_i(t) \leq d_i$, $d_i(t) \leq \gamma_i < 1$ для констант $d_i, \gamma_i, i = 1, \dots, n$.

Гипотеза 4. Опорный сигнал $y_r(t)$ непрерывно дифференцируется. Более того, существует постоянная $M > 0$, такая, что $|y_r(t)| \leq M$, $|\dot{y}_r(t)| \leq M$, $\forall t > -d$.

Замечание 1. В работах [3-7], даже если все управляющие коэффициенты равны единице, конструкция управления с обратной связью по выходу системы (1) более сложная. Гипотеза 1 ослабляет эти управляющие коэффициенты. По сравнению с [2-4,6,7] гипотеза 2 является более мягким условием; когда $d_i(t) = 0$, это становится гипотезами в [3-8], которые играют важную роль в решении проблемы отслеживания. Когда временные задержки являются постоянными и $p_i = 1$, гипотеза 2 становится допущениями в [28], а когда $d_i \neq 1$ и $p_i > 1$, это уменьшает допущения в существующих результатах. Однако, когда $d_i(t) \neq 0$, глобальное отслеживание выходных данных системы (1) с помощью обратной связи по выходу является относительно новой проблемой из-за изменяющейся во времени задержки, вход в состояния системы усложняет конструкцию управления, поскольку наличие эффекта временной задержки делает общее предположение о высокой-нелинейности системы порядка неосуществимы и какие условия должны быть поставлены для нелинейностей, остается без ответа. Гипотеза 4 представляет собой условие опорного сигнала, которое уже можно назвать стандартным условием для решения задачи слежения нелинейных систем (см. [3-8,28]).

В соответствии с гипотезами 1-4, основной целью этой статьи является разработка системы управления обратной связью для решения практической задачи отслеживания выходных данных для неопределенных нелинейных систем с изначально изменяющимися во времени задержками (1). Для достижения этой цели мы осуществляем следующее преобразование:

$$z_i(t) = \alpha_0 x_i(t), \quad z_i(t) = \tilde{\alpha}_i x_i(t), \quad i = 2, \dots, n \quad (6)$$

где $\tilde{\alpha}_{i-1} = \prod_{j=1}^{i-2} \alpha_j^{1/(p_{i-1} \dots p_{i-2})}$, $p_0 = 1$. Используя новые координаты (6), система (1) может быть переписана следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{z}_i(t) &= z_{i+1}^{p_i}(t) + \psi_i(t, z(t), z_1(t-d_1(t)), \dots, z_n(t-d_n(t)), u(t)), \quad i = 1, \dots, n-1, \\ \dot{z}_n(t) &= \tilde{\alpha}_n u(t) + \psi_n(t, z(t), z_1(t-d_1(t)), \dots, z_n(t-d_n(t)), u(t)), \\ y(t) &= z_1(t) - y_r(t) \end{aligned} \quad (7)$$

где,

$$\begin{aligned} \Psi_i(t, z(t), z_1(t - d_1(t)), \dots, z_n(t - d_n(t)), u(t)) = \\ \tilde{\alpha}_{i-1} \Phi_i(t, z(t), z_1(t - d_1(t)), \dots, z_n(t - d_n(t)), u(t)), \quad i = 1, \dots, n \end{aligned}$$

$$\text{и } \tilde{\alpha}_n = \left(\prod_{j=1}^{n-1} \alpha_{j-1}^{1/(p_{j-1} \dots p_{n-1})} \right) \alpha_n.$$

Используя гипотезу 1, можно легко доказать, что гипотеза 2 также справедлива для Ψ_i ,

$$|\Psi_i(t, z(t), z_1(t - d_1(t)), \dots, z_n(t - d_n(t)))| \leq \bar{C}_1 \left(\sum_{j=1}^i |z_j(t)|^{(\eta_j + \tau)/r_j} + \sum_{j=1}^i |z_j(t - d_j(t))|^{(\eta_j + \tau)/r_j} \right) + \bar{C}_2 \quad (8)$$

где $\bar{C}_i, i = 1, 2$ новые темпы роста.

В дальнейшем мы сначала разработаем стабилизатор с обратной связью по выходу для системы:

$$\begin{aligned} \dot{\eta}_i(t) &= \eta_{i+1}^{p_i}(t), \quad i = 1, \dots, n - 1, \\ \dot{\eta}_n(t) &= \tilde{\alpha}_n u(t), \\ y(t) &= \eta_1(t) \end{aligned} \quad (9)$$

Мы используем метод, аналогичный в работе [8], который позволяет построить стабилизатор с обратной связью по состоянию для системы (9), как описано в факте 1.

Факт 1. Предположим, что существует стабилизатор с обратной связью по состоянию для системы (9) вида

$$u(\eta) = -\beta_n \xi_n^{(r_n + \tau)/\sigma} = -\beta_n (\eta_n^{\sigma/r_n} + \beta_{n-1}^{\sigma/r_{n-1}} (\eta_{n-1}^{\sigma/r_{n-1}} + \dots + \beta_2^{\sigma/r_2} (\eta_2^{\sigma/r_2} + \beta_1^{\sigma/r_1} \eta_1^\sigma) \dots))^{(r_n + \tau)/\sigma} \quad (10)$$

с положительно определенной и правильной функцией Ляпунова,

$$V_n = \sum_{i=1}^n \int_{\eta_i^*}^{\eta_i} (s^{\sigma/r_i} - \eta_i^{*\sigma/r_i})^{(2\sigma - \tau - r_i)/\sigma} ds \quad (11)$$

такой что,

$$\dot{V}_n \leq -\sum_{j=1}^n \xi_j^2, \quad (12)$$

где $\xi_i = \eta_i^{\sigma/r_i} - \eta_i^* = -\beta_{i-1} \xi_{i-1}^{r/\sigma}, \eta_1^* = 0, \sigma \geq \max_{1 \leq i \leq n} \{\tau + r_i\}$ и $\beta_i, i = 1, \dots, n$ являются положительными константами. Тогда системы с замкнутым контуром (9) и (10) глобально асимптотически устойчивы.

Когда состояния η_2, \dots, η_n неизмеримы, он может заменить η_i на (9) с помощью принципа эквивалентности определенности и с помощью подхода, аналогичного [8], который может построить стабилизатор с обратной связью по выходу для системы (9), как описано в факте 2.

Факт 2. Предположим, что существует основанный на наблюдении стабилизатор выходной обратной связи для системы (9) следующего вида

$$\begin{aligned}\dot{\zeta}_2 &= -l_1 \hat{\eta}_2^{p_1}, \hat{\eta}_2^{p_1} = (\zeta_2 + l_1 \eta_1)^{r_2 p_1 / r_1} \\ \dot{\zeta}_i &= -l_{i-1} \hat{\eta}_i^{p_{i-1}}, \hat{\eta}_i^{p_{i-1}} = (\zeta_i + l_{i-1} \hat{\eta}_{i-1})^{r_{i-1} p_{i-1} / r_{i-1}}, i = 3, \dots, n\end{aligned}\quad (13)$$

$$u(\hat{\eta}) = -\beta_n (\hat{\eta}_n^{\sigma/r_n} + \beta_{n-1}^{\sigma/r_{n-1}} (\hat{\eta}_{n-1}^{\sigma/r_{n-1}} + \dots + \beta_2^{\sigma/r_2} (\eta_2^{\sigma/r_2} + \beta_1^{\sigma/r_2} \eta_1^\sigma) \dots))^{(r_n + \tau)/\sigma} \quad (14)$$

с положительно определенной, непрерывно дифференцируемой и правильной функцией Ляпунова,

$$Q = V_n + \sum_{i=2}^n U_i \quad (15)$$

$$V_n = \sum_{i=1}^n \int_{\eta_i^*}^{\eta_i} (s^{\sigma/r_i} - \eta_i^{*\sigma/r_i})^{(2\sigma - \tau - r_i)/\sigma} ds, U_i = \int_{(\zeta_i + l_{i-1} \eta_{i-1})^{(2\sigma - \tau - r_{i-1})/r_{i-1}}}^{\eta_i^{(2\sigma - \tau - r_{i-1})/r_{i-1}}} (s^{r_{i-1}/(2\sigma - \tau - r_{i-1})} - (\zeta_i + l_{i-1} \eta_{i-1})) ds$$

такой, что

$$\dot{Q} \leq -\sum_{j=1}^n \xi_j^2 - \sum_{j=2}^n e_j^2 \quad (16)$$

где $\xi_i = \eta_i^{\sigma/r_i} - \eta_i^{*\sigma/r_i}$, $\eta_i^* = -\beta_{i-1} \xi_{i-1}^{r_i/\sigma}$, $\eta_1^* = 0$, $\sigma \geq \max_{1 \leq i \leq n} \{\tau + r_i\}$, $e_i = (\eta_i^{p_{i-1}} - \hat{\eta}_i^{p_{i-1}})^{\sigma/(r_i p_{i-1})}$, и $l_i, \beta_i, i = 1, \dots, n$ – положительные константы. Тогда системы с замкнутым контуром (9), (13) и (14) являются глобально асимптотически устойчивыми.

Доказательства фактов 1-2 аналогичны как в работе [8], теорема 1, с некоторыми изменениями, и параметры $l_i, i = 1, \dots, n$ для наблюдателя (13) также могут быть выбраны методом, предложенным в [8]. Поэтому в этой работе пропустим данное доказательство.

Обратите внимание, что из построения Q нетрудно проверить, что Q является положительным, определенным и правильным относительно

$$H := [\eta_1, \dots, \eta_n, \hat{\eta}_2, \dots, \hat{\eta}_n]^T \quad (17)$$

Системы с замкнутым контуром (9), (13) и (14) могут быть переписаны как

$$\dot{H} = F(H) = [\eta_2^{p_1}, \dots, \eta_n^{p_{n-1}}, \tilde{\alpha}u(\eta_1, \hat{\eta}_2, \dots, \hat{\eta}_n, f_{n+1}, \dots, f_{2n-1})]^T \quad (18)$$

где $f_{n+1} := \dot{\zeta}_2, f_{n+2} := \dot{\zeta}_3, \dots, f_{2n-1} := \dot{\zeta}_n$.

Более того, путем введения веса расширения,

$$\Delta = \underbrace{[r_1, r_2, \dots, r_n]}_{\text{for } \eta_1, \dots, \eta_n}, \underbrace{[r_1, r_2, \dots, r_{n-1}]}_{\text{for } \hat{\eta}_2, \dots, \hat{\eta}_n} \quad (19)$$

По определению можно проверить, что имеет однородную степень τ , и поскольку система (18) глобально асимптотически устойчива по факту 2, то существует функция Ляпунова $Q(H)$ однородной степени $2\sigma - \tau$ для веса расширения Δ и удовлетворяет

$$\left| \dot{Q}(H) \right| (18) = \left| \frac{\partial Q(H)}{\partial H} F(H) \right| \leq -c_1 \|H\|^{2\sigma} \quad (20)$$

где $c_1 > 0$ является константой $\|H\| = \left(\sum_{i=1}^{2n-1} |H_i|^{2/r_i}\right)^{1/2}$. И, более того, существует константа $c_2 > 0$, такая, что выполняется следующее:

$$\left| \frac{\partial Q(H)}{\partial H_i} \right| \leq -c_1 \|H\|^{2\sigma - \tau - r_i}, c_2 > 0 \tag{21}$$

Затем будет сконструирован контроллер с обратной связью по выходу для решения проблемы глобального практического отслеживания выходных данных.

Результаты и обсуждения. *Теорема 1.* Согласно гипотезам 1-4, проблема глобального практического отслеживания выходных данных для системы (7) может быть решена с помощью управления с обратной связью по выходу с использованием форм (13) и (14).

Доказательство. Основанный на наблюдении контроллер выходной обратной связи сконструирован путем введения масштабного усиления в контроллер выходной обратной связи, полученный в факте 2. Прежде чем продолжить, мы вводим следующее преобразование координат:

$$\begin{aligned} x_1(t) &:= y(t), \\ L^{K_i} z_i(t) &:= x_i(t), \quad i = 2, \dots, n, \\ L^{K_{n+1}} \vartheta(t) &:= u(t) \end{aligned} \tag{22}$$

где $\kappa_1 = 0$, $\kappa_i = (\kappa_{i-1} + 1) / p_{i-1}, i = 2, \dots, n$ и $L \geq 1$ является константой, подлежащей определению. В соответствии с координатами (22) система (7) имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= Lx_{i+1}^{p_i}(t) + \psi_i(\cdot) / L^{K_i}, \quad i = 1, \dots, n-1, \\ \dot{x}_n(t) &= L\tilde{\alpha}v(t) + \psi_n(\cdot) / L^{K_n}, \\ y(t) &= x_1(t) \end{aligned} \tag{23}$$

Используя лемму 3 и тот факт, что $L \geq 1$, нетрудно доказать, что выполняются следующие неравенства:

$$\begin{aligned} \frac{1}{L^{K_i}} |\psi_i(\cdot)| &\leq \frac{C_1}{L^{K_i}} \left(|x_1(t)| + y_r(t) |^{(r_i+\tau)/r_i} + \sum_{j=2}^i |L^{K_j} x_j(t)|^{(r_i+\tau)/r_j} \right. \\ &\left. + |x_1(t-d_1(t)) + y_r(t-d_1(t))|^{(r_i+\tau)/r_i} + \sum_{j=2}^i |L^{K_j} x_j(t-d_j(t))|^{(r_i+\tau)/r_j} \right) + \frac{C_2}{L^{K_i}} \end{aligned} \tag{24}$$

Далее, исходя из гипотезам 2, мы можем легко вычислить

$$\frac{1}{L^{K_i}} |\psi_i(\cdot)| \leq \bar{C}_1 L^{1-\nu} \sum_{j=1}^i \left(|x_j(t)|^{r_j} + |x_j(t-d_j(t))|^{r_j} + |x_j(t-d_j(t))|^{r_j} \right) + \frac{\bar{C}_2}{L^{K_i}}, i = 1, \dots, n \tag{25}$$

где $\nu = \min_{2 \leq j \leq i, 1 \leq i \leq n} \{1 - k_j(r_i + \tau) / r_j + k_i\} > 0$ и $\bar{C}_i > 0, i = 1, 2$ только в зависимости от C_i, τ, κ_i и M .

Далее мы строим наблюдателя с коэффициентом масштабирования L ,

$$\begin{aligned}\dot{\zeta}_2 &= -Ll_1 x_2^{p_1}, x_2^{p_1} = (\zeta_2 + l_1 x_1)^{r_2 p_1 / r_1} \\ \dot{\zeta}_2 &= -Ll_{i-1} x_i^{p_{i-1}}, x_i^{p_{i-1}} = (\zeta_i + l_{i-1} x_{i-1})^{r_i p_{i-1} / r_{i-1}}, \quad i = 3, \dots, n\end{aligned}\quad (26)$$

и контроллер, использующий ту же конструкцию (14), т.е.,

$$u(t) = L^{K_{n+1}} \nu(\hat{x}) = -L^{K_{n+1}} \beta_n (x_n^{\sigma/r_n} + \beta_{n-1}^{\sigma/r_n} (x_{n-1}^{\sigma/r_{n-1}} + \dots \beta_2^{\sigma/r_3} (x_2^{\sigma/r_2} + \beta_1^{\sigma/r_3} x_1^{\sigma}) \dots))^{(r_{n+\tau})/\sigma}. \quad (27)$$

Очевидно, что, используя те же обозначения (17), система (23), (26) и (27) может быть записана следующим образом

$$\dot{X} = LF(X) + \left[\Psi_1(\cdot), \frac{1}{L^{K_2}} \Psi_2(\cdot), \Psi_3(\cdot), \dots, \frac{1}{L^{K_n}} \Psi_n(\cdot), 0, \dots, 0 \right]^T \quad (28)$$

где $F(X)$ является таким же, как определено в (18).

Следовательно, принимая функцию Ляпунова $Q(X)$, как в (15), ее производная по (28) удовлетворяет

$$\begin{aligned}\dot{Q}(X) &= L \frac{\partial Q(X)}{\partial X} F(X) + \frac{\partial Q(X)}{\partial X} \left[\Psi_1(\cdot), \frac{1}{L^{K_2}} \Psi_2(\cdot), \Psi_3(\cdot), \dots, \frac{1}{L^{K_n}} \Psi_n(\cdot), 0, \dots, 0 \right]^T \\ &\leq -Lc_1 \|X\|^{2\sigma} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \frac{\Psi_i(\cdot)}{L^{K_i}}.\end{aligned}\quad (29)$$

Далее, используя (25), получаем

$$\begin{aligned}\dot{Q}(X) &\leq -Lc_1 \|X\|^{2\sigma} + \\ &\bar{C}_1 \sum_{i=1}^n L^{1-\nu} \left| \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \right| \left(\sum_{j=1}^i |x_j|^{r_j} + \sum_{j=1}^i |x_j(t-d_j(t))|^{r_j} \right) + \bar{C}_2 \sum_{j=1}^i \frac{1}{L^{K_i}} \left| \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \right|\end{aligned}\quad (30)$$

Согласно лемме 2 и [35], $\frac{\partial Q(X)}{\partial X_i}$ является однородным по степени $2\sigma - \tau - r_i$,

члены $\left| \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \right| \sum_{j=1}^i |x_j|^{(r_i+\tau)/r_j}$ и $\left| \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \right| \sum_{j=1}^i |x_j(t-d_j(t))|^{(r_i+\tau)/r_j}$ являются однородными по степени 2σ , и поэтому из лемм 1 и 2 следует, что существуют $\hat{\omega}_i, \check{\omega}_i$ положительные

константы для $i = 1, \dots, n$, такие, что

$$\left| \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \right| \left(\sum_{j=1}^i |x_j|^{(r_i+\tau)/r_j} + \sum_{j=1}^i |x_j(t-d_j(t))|^{(r_i+\tau)/r_j} \right) \leq \hat{\omega}_i \|X(t)\|^{2\sigma} + \check{\omega}_i \|X(t-d_i(t))\|^{2\sigma}.$$

Кроме того, из лемм 2, 4 и 5 следует, что существуют положительные константы $b_1, \bar{b}_2, \tilde{b}_2$ такие, что

$$\left| \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \right| \leq b_1 \|X\|^{2\sigma-\tau-r_i} = b_1 (L^{\frac{1}{2\sigma}} \|X\|)^{2\sigma-\tau-r_i} (L^{-\frac{2\sigma-\tau-r_i}{2\sigma(\tau+r_i)}})^{\tau+r_i} \leq \frac{c_1}{2} L \|X\|^{2\sigma} + \bar{b}_2 L^{-\frac{2\sigma-\tau-r_i}{\tau+r_i}} \quad (31)$$

$$\frac{1}{L^{Ki}} \left| \frac{\partial Q(X)}{\partial X_i} \right| \leq c_2 \|X\|^{2\sigma - \tau + \tau_i} \left(L^{-K_i / (\tau + \tau_i)} \right)^{\tau + \tau_i} \leq \bar{c}_2 \|X\|^{2\sigma} + \tilde{b}_2 L^{-2\sigma K_i / (\tau + \tau_i)}, i = 2, \dots, n$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}(X(t)) \leq & -L \left(\frac{c_1}{2} - (n-1)\bar{c}_2 L^{-1} - L^{-\nu} \bar{C}_1 \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i \right) \|X(t)\|^{2\sigma} \\ & + \left(L^{1-\nu} \bar{C}_1 \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i \right) \|X(t - d_i(t))\|^{2\sigma} + \bar{b}_2 L^{-1} + \tilde{b}_2 L^{-1} + \tilde{b}_2 (n-1) L^{-K_{\min}} \end{aligned} \quad (32)$$

где $K_{\min} = \min\{K_i\}$.

Чтобы устранить эффект временных задержек, мы выбрали функционал Ляпунова-Красовского следующим образом:

$$V(X) = Q(X) + S(X), \quad S(X) = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{1 - \gamma_i} \int_{t-d_i(t)}^t \|X(s)\|^{2\sigma} ds \quad (33)$$

где $\lambda > 0$ это параметр, который будет определен позже.

Поскольку $Q(X) > 0$ непрерывно дифференцируемо и правильно, существуют два класса K_∞ функций, π_1 и π_2 , такие, что

$$\pi_1(|X|) \leq Q(X) \leq \pi_2(|X|) \quad (34)$$

Согласно однородной теории, существуют константы $\delta_i > 0, i = 1, 2$, такие, что

$$\delta_1 \|X\|^{2\sigma} \leq W(X) \leq \delta_2 \|X\|^{2\sigma} \quad (35)$$

где $W(X) > 0$ – функция, однородная степень которой равна 2σ . Следовательно, справедливо следующее:

$$\bar{\pi}_1(|X|) \leq W(X) \leq \bar{\pi}_2(|X|) \quad (36)$$

с двумя функциями класса K_∞ .

С помощью $0 \leq d_i(t) \leq d_i$ и $d_i(t) \leq y_i < 1$ следует, что

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{1 - \gamma_i} \int_{t-d_i(t)}^t \|X(s)\|^{2\sigma} ds & \leq \bar{\delta}_i \int_{t-d_i}^t \bar{\pi}_2(|X(s)|) ds \leq \bar{\delta}_i \int_{-d_i}^0 \bar{\pi}_2(|X(\zeta + t)|) d(\zeta + t) \\ & \leq \tilde{\delta}_i \sup_{-d_i \leq \zeta \leq 0} \bar{\pi}_2(|X(\zeta + t)|) \leq \tilde{\pi}_2(|X(\zeta + t)|) \end{aligned} \quad (37)$$

Определяя $\pi_2 = \bar{\pi}_2 + \tilde{\pi}_2$ из (33), (34) и (37), следует, что

$$\tilde{\pi}_1(|X(t)|) \leq S(X(t)) \leq \pi_2 \left(\sup_{-d \leq \zeta \leq 0} |X(\zeta + t)| \right) \quad (38)$$

$$\begin{aligned} \dot{V} & = \dot{Q} + \sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{1 - \gamma_i} \|X(t)\|^{2\delta} - \sum_{i=1}^n \lambda \|X(t - d_i(t))\|^{2\sigma} \\ & = -L \left(\frac{c_1}{2} - (n-1)\bar{c}_2 L^{-1} - L^{-\nu} m_1 - L^{-1} \sum_{i=1}^n \frac{\lambda}{1 - \gamma_i} \right) \|X(t)\|^{2\mu} \\ & \quad - (\lambda - L^{1-\nu} m_2) \|X(t - d_i(t))\|^{2\mu} + \bar{b}_2 (L^{-1} + L^{-K_{\min}}) \end{aligned} \quad (39)$$

Следовательно, выбирая $\lambda = m_2 L^{1-\nu}$ и с достаточно большим L , он удовлетворяет

Тогда неравенство (39) становится $(n-1)\bar{c}_2 L^{-1} + L^{-\nu} \left(m_1 + m_2 \sum_{i=1}^n \frac{1}{1-\gamma_i} \right) \leq \frac{c_1}{2}$.

$$\dot{V}(X(t)) \leq -\frac{c_1 L}{2} \|X(t)\|^{2\sigma} + \rho_1 \quad (40)$$

В (33) $V_n(z)$ и $S(z)$ являются однородными степени $2\sigma - \tau$ и 2σ по отношению к весу расширения Δ соответственно. Следовательно, из леммы 2 следует, что существуют константы $\lambda_1 > 0$ и $\nu_i > 0$ для $i = 1, 2$ такие, что

$$\lambda_1 \|X(t)\|^{2\sigma-\tau} \leq Q(X(t)) \leq \lambda_2 \|X(t)\|^{2\sigma-\tau} \quad (41)$$

$$\omega_1 \|X(t)\|^{2\delta} \leq S(X(t)) \leq \omega_2 \|X(t)\|^{2\sigma}. \quad (42)$$

Более того, из-за $2\sigma - \tau \leq 2\sigma$, $L(\tau - 2\sigma)/\tau < 1$, $\tau - 2\sigma < 0$, $L > 1$ и по лемме 4 мы имеем

$$\lambda_2 \|X(t)\|^{2\sigma-\tau} = L \left((\lambda_2 / L)^{1/\tau} \right)^\tau \|X(t)\|^{2\sigma-\tau} \leq \frac{2\sigma - \tau}{2\sigma} L \|X(t)\|^{2\sigma} + \frac{\tau L^{(\tau-2\sigma)/\tau}}{2\sigma} \lambda_2^{2\sigma/\tau} \quad (43)$$

Далее, мы имеем

$$V(X(t)) \leq \rho_2 L \|X(t)\|^{2\sigma} + \frac{\tau L^{(\tau-2\sigma)/\tau}}{2\sigma} \lambda_2^{2\sigma/\tau} \quad (44)$$

$$\frac{1}{\rho_2} V(X(t)) \leq L \|X(t)\|^{2\sigma} + \frac{\tau L^{(\tau-2\sigma)/\tau}}{2\sigma \rho_2} \lambda_2^{2\sigma/\tau} \quad (45)$$

где $p = (\omega_2 + (2\delta - \tau)/2\delta)$.

Следовательно, из (33) и (44) следует, что

$$\dot{V}(X(t)) \leq -\frac{c_1}{2} \left(L \|X(t)\|^{2\sigma} + \frac{\tau L^{(\tau-2\sigma)/\tau}}{2\sigma \rho_2} \lambda_2^{2\sigma/\tau} \right) + \frac{\tau L^{(\tau-2\sigma)/\tau}}{2\sigma \rho_2} \lambda_2^{2\sigma/\tau} + \rho_1 \leq -\frac{c_1}{2\rho_2} V(X(t)) + \bar{\rho}_1, \quad (46)$$

где $\bar{\rho}_1 = \frac{c_1 \tau L^{(\tau-2\sigma)/\tau}}{4\sigma \rho_2} \lambda_2^{2\sigma/\tau} + \rho_1 = \frac{c_1 \tau \lambda_2^{2\sigma/\tau}}{4\sigma \rho_2} L^{-(2\sigma-\tau)/\tau} + \bar{b}_2 L^{-1} + \tilde{b}_2 L^{-1} + \tilde{b}_2 (n-1) L^{-K_{\min}}$.

$$\frac{d}{dt} \left(e^{tc_1/(2\rho_2)} V(X(t)) \right) \leq e^{tc_1/(2\rho_2)} \bar{\rho}_1 \quad (47)$$

принимая интеграл с обеих сторон,

$$e^{tc_1/(2\rho_2)} V(X(t)) - V(X(0)) \leq \frac{2\rho_2}{c_1} \bar{\rho}_1 \left(e^{tA/(2\rho_2)} - 1 \right) \quad (48)$$

Следовательно, существует конечное время $T > 0$,

$$V(X(t)) \leq e^{-c_1/\rho_2} V(X(0)) + \frac{2\rho_2}{c_1} \bar{\rho}_1 (1 - e^{-c_1/\rho_2}) \leq \frac{6\rho_2}{c_1} \bar{\rho}_1 \quad (49)$$

Это приводит к $|x_1(t) - y_r(t)| = |x_1(t)| \leq \frac{3}{2\sigma L^{(2\sigma-\tau)/\tau}} \lambda_2^{2\sigma/\tau} + \frac{6\bar{b}_2\rho_2}{c_1 L} + \frac{6(n-1)\tilde{b}_2\rho_2}{c_1 L^{K_{\min}}}$, для любых $t > T$.

Таким образом, для любого заданного допуска $\varepsilon > 0$ существует достаточно большой L , такой, что $|x_1(t) - y_r(t)| \leq \varepsilon$, $\forall t > T > 0$. Это завершает доказательство нашей главной теоремы.

Некоторые интересные проблемы все еще оставались; например, если скорость роста в гипотезе 2 является неизвестной константой, как мы можем спроектировать адаптивный контроллер с обратной связью по выходу для системы (1)? Недавно было получено несколько результатов по переключаемым или стохастическим нелинейным системам высокого порядка с временной задержкой (например, [14-16]), но в этих работах рассматриваются только системы с нелинейным ростом высокого порядка. Важный вопрос заключается в том, могут ли эти результаты быть распространены на переключаемые или стохастические нелинейные системы с нелинейностями низкого порядка или на вышеупомянутые классы нелинейных систем в целом.

Выводы. В этой статье решена проблема практического отслеживания глобального выходного сигнала для класса неопределенных нелинейных систем с изначально изменяющимися во времени задержками с помощью управления с обратной связью на основе наблюдателя. С помощью метода однородного доминирования и нового функционала Ляпунова-Красовского в предлагаемый контроллер с обратной связью по выходу вводится масштабирующее усиление, гарантирующее, что все состояния замкнутой системы остаются ограниченными, и одновременно делающее ошибку отслеживания сколь угодно малой. Полученные результаты математического моделирования подтверждаются доказательствами и планируется реализовать предложенный подход вычислительными методами.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Qian C., Lin W. Practical output tracking of nonlinear systems with uncontrollable unstable linearization // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2002. – 47. – P.21-36.
- 2 Lin, W., Pongvuthithum R. Adaptive output tracking of inherently nonlinear systems with nonlinear parameterization // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2003. – 48. – P.1737-1749.
- 3 Gong Q., Qian C. Global practical output regulation of a class of nonlinear systems by output feedback // Automatica 2007, 43, 184-189.
- 4 Sun, Z.-Y., Liu, Y.-G. Adaptive practical output tracking control for high-order nonlinear uncertain systems // Acta Automatica Sinica 2008, 34, 984-989.
- 5 Alimhan K., Inaba H. Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently nonlinear systems // International Journal of Modelling, Identification and Control 2008, 4, 304-314.
- 6 Yan X., Liu Y. Global practical tracking for high order uncertain nonlinear systems with unknown control directions // SIAM Journal on Control and Optimization 2010, 48, 4453-4473.
- 7 Yan X., Liu Y. Global practical tracking by output feedback for nonlinear systems with unknown growth rate // Science China Information Sciences 2011, 54, 2079-2090.

8 Zhai J., Fei S. Global practical tracking control for a class of uncertain non-linear systems // IET Control Theory & Applications 2011, 5, 1343-1351.

9 Alimhan K., Otsuka N., Alimhan K., Otsuka N. A note on practically output tracking control of nonlinear systems that may not be linearizable at the origin // In Communications in Computer and Information Science; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2011; Volume 256, pp. 17-25.

10 Yan X., Liu Y. The further result on global practical tracking for high-order uncertain nonlinear systems // Journal of Systems Science and Complexity 2012, 25, 227-237.

11 Zhai J., Qian C. Global control of nonlinear systems with uncertain output function using homogeneous domination approach // International Journal of Robust and Nonlinear Control 2012, 22, 1543-1561.

12 Alimhan K., Otsuka N., Adamov A.A., Kalimoldayev M.N. Global practical output tracking of inherently non-linear systems using continuously differentiable controllers // Mathematical Problems in Engineering 2015, 2015, 932097.

13 Alimhan K., Otsuka N., Kalimoldayev M.N., Adamov, A.A. Output Tracking Problem of Uncertain Nonlinear Systems with High-Order Nonlinearities // In Proceedings of the 2015 8th International Conference on Control and Automation, Jeju, Korea, 25-28 November 2015; pp. 1-4.

14 Song Z., Zhai J. Practical output tracking control for switched nonlinear systems: A dynamic gain based approach // Nonlinear Analysis: Hybrid Systems 2018, 30, 147-162. Computation 2022, 10, 187.

15 Guo L.C. Practical tracking control for stochastic nonlinear systems with polynomial function growth conditions // Automatika 2019, 60, 443-450.

16 Jiang Y., Zhai J. Practical tracking control for a class of high-order switched nonlinear systems with quantized input // ISA Transactions 2020, 96, 218-227.

17 Qian C. A homogeneous domination approach for global output feedback stabilization of a class of non-linear systems // In Proceedings of the American Control Conference, Portland, OR, USA, 8-10 June 2005; pp. 4708-4715.

18 Sun Z., Liu Y., Xie X. Global stabilization for a class of high-order time-delay nonlinear systems // International Journal of Innovative Computing, Information and Control 2011, 7, 7119-7130.

19 Sun Z., Xie X., Liu Z. Global stabilization of high-order nonlinear systems with multiple time delays // International Journal of Control 2013, 86, 768-778.

20 Sun Z., Zhang X., Xie X. Continuous global stabilization of high-order time-delay nonlinear systems // International Journal of Control 2013, 86, 994-1007.

21 Chai L. Global Output Control for a Class of Inherently Higher-Order Nonlinear Time-Delay Systems Based on Homogeneous Domination Approach // Discrete Dynamics in Nature and Society 2013, 2013, 180717.

22 Zhai J. Global output feedback stabilization for a class of nonlinear time-varying delay systems // Applied Mathematics and Computation 2014, 228, 606-614.

23 Zhang N., Zhang E., Gao F. Global Stabilization of High-Order Time-Delay Nonlinear Systems under a Weaker Condition // In Abstract and Applied Analysis; Hindawi: London, UK, 2014; pp. 1-8.

24 Gao F., Wu Y. Further results on global state feedback stabilization of high-order nonlinear systems with time-varying delays // ISA Transactions 2015, 55, 41-48.

25 Gao F., Wu Y. Global stabilisation for a class of more general high-order time-delay nonlinear systems by output feedback // International Journal of Control 2015, 88, 1540-1553.

26 Gao F., Wu Y., Yuan F. Global output feedback stabilisation of high-order nonlinear systems with multiple time-varying delays // International Journal of Systems Science 2016, 47, 2382-2392.

27 Zhang X., Lin W., Lin Y. Nonsmooth Feedback Control of Time-Delay Nonlinear Systems: A Dynamic Gain Based Approach // IEEE Transactions on Automatic Control 2016, 62, 438-444.

28 Yan X., Song X. Global Practical Tracking by Output Feedback for Nonlinear Systems with Unknown Growth Rate and Time Delay // *The Scientific World Journal* 2014, 2014, 713081.

29 Jia X., Xu S., Chen J., Li Z., Zou Y. Global output feedback practical tracking for time-delay systems with uncertain polynomial growth rate // *Journal of The Franklin Institute* 2015, 352, 5551-5568.

30 Jia X., Xu S. Global practical tracking by output feedback for nonlinear time-delay systems with uncertain polynomial growth rate // *In Proceedings of the 2015 34th Chinese Control Conference (CCC)*, Hangzhou, China, 28–30 July 2015; pp. 607-611.

31 Jia X., Xu S., Ma Q., Qi Z., Zou Y. Global practical tracking by output feedback for a class of non-linear time-delay systems // *IMA Journal of Mathematical Control and Information* 2016, 33, 1067-1080.

REFERENCES

1 Qian C., Lin W. Practical output tracking of nonlinear systems with uncontrollable unstable linearization // *IEEE Transactions on Automatic Control*. – 2002. – 47. – P.21-36.

2 Lin, W., Pongvuthithum R. Adaptive output tracking of inherently nonlinear systems with nonlinear parameterization // *IEEE Transactions on Automatic Control*. – 2003. – 48. – P.1737-1749.

3 Gong Q., Qian C. Global practical output regulation of a class of nonlinear systems by output feedback // *Automatica* 2007, 43, 184-189.

4 Sun, Z.-Y., Liu, Y.-G. Adaptive practical output tracking control for high-order nonlinear uncertain systems // *Acta Automatica Sinica* 2008, 34, 984-989.

5 Alimhan K., Inaba H. Robust practical output tracking by output compensator for a class of uncertain inherently nonlinear systems // *International Journal of Modelling, Identification and Control* 2008, 4, 304-314.

6 Yan X., Liu Y. Global practical tracking for high order uncertain nonlinear systems with unknown control directions // *SIAM Journal on Control and Optimization* 2010, 48, 4453-4473.

7 Yan X., Liu Y. Global practical tracking by output feedback for nonlinear systems with unknown growth rate // *Science China Information Sciences* 2011, 54, 2079-2090.

8 Zhai J., Fei S. Global practical tracking control for a class of uncertain non-linear systems // *IET Control Theory & Applications* 2011, 5, 1343-1351.

9 Alimhan K., Otsuka N., Alimhan K., Otsuka N. A note on practically output tracking control of nonlinear systems that may not be linearizable at the origin // *In Communications in Computer and Information Science*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2011; Volume 256, pp. 17-25.

10 Yan X., Liu Y. The further result on global practical tracking for high-order uncertain nonlinear systems // *Journal of Systems Science and Complexity* 2012, 25, 227-237.

11 Zhai J., Qian C. Global control of nonlinear systems with uncertain output function using homogeneous domination approach // *International Journal of Robust and Nonlinear Control* 2012, 22, 1543-1561.

12 Alimhan K., Otsuka N., Adamov A.A., Kalimoldayev M.N. Global practical output tracking of inherently non-linear systems using continuously differentiable controllers // *Mathematical Problems in Engineering* 2015, 2015, 932097.

13 Alimhan K., Otsuka N., Kalimoldayev M.N., Adamov, A.A. Output Tracking Problem of Uncertain Nonlinear Systems with High-Order Nonlinearities // *In Proceedings of the 2015 8th International Conference on Control and Automation*, Jeju, Korea, 25-28 November 2015; pp. 1-4.

14 Song Z., Zhai J. Practical output tracking control for switched nonlinear systems: A dynamic gain based approach // *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems* 2018, 30, 147-162. *Computation* 2022, 10, 187.

15 Guo L.C. Practical tracking control for stochastic nonlinear systems with polynomial function growth conditions // *Automatika* 2019, 60, 443-450.

16 Jiang Y., Zhai J. Practical tracking control for a class of high-order switched nonlinear systems with quantized input // *ISA Transactions* 2020, 96, 218-227.

17 Qian C. A homogeneous domination approach for global output feedback stabilization of a class of non-linear systems // In Proceedings of the American Control Conference, Portland, OR, USA, 8-10 June 2005; pp. 4708-4715.

18 Sun Z., Liu Y., Xie X. Global stabilization for a class of high-order time-delay nonlinear systems // International Journal of Innovative Computing, Information and Control 2011, 7, 7119-7130.

19 Sun Z., Xie X., Liu Z. Global stabilization of high-order nonlinear systems with multiple time delays // International Journal of Control 2013, 86, 768-778.

20 Sun Z., Zhang X., Xie X. Continuous global stabilization of high-order time-delay nonlinear systems // International Journal of Control 2013, 86, 994-1007.

21 Chai L. Global Output Control for a Class of Inherently Higher-Order Nonlinear Time-Delay Systems Based on Homogeneous Domination Approach // Discrete Dynamics in Nature and Society 2013, 2013, 180717.

22 Zhai J. Global output feedback stabilization for a class of nonlinear time-varying delay systems // Applied Mathematics and Computation 2014, 228, 606-614.

23 Zhang N., Zhang E., Gao F. Global Stabilization of High-Order Time-Delay Nonlinear Systems under a Weaker Condition // In Abstract and Applied Analysis; Hindawi: London, UK, 2014; pp. 1-8.

24 Gao F., Wu Y. Further results on global state feedback stabilization of high-order nonlinear systems with time-varying delays // ISA Transactions 2015, 55, 41-48.

25 Gao F., Wu Y. Global stabilisation for a class of more general high-order time-delay nonlinear systems by output feedback // International Journal of Control 2015, 88, 1540-1553.

26 Gao F., Wu Y., Yuan F. Global output feedback stabilisation of high-order nonlinear systems with multiple time-varying delays // International Journal of Systems Science 2016, 47, 2382-2392.

27 Zhang X., Lin W., Lin Y. Nonsmooth Feedback Control of Time-Delay Nonlinear Systems: A Dynamic Gain Based Approach // IEEE Transactions on Automatic Control 2016, 62, 438-444.

28 Yan X., Song X. Global Practical Tracking by Output Feedback for Nonlinear Systems with Unknown Growth Rate and Time Delay // The Scientific World Journal 2014, 2014, 713081.

29 Jia X., Xu S., Chen J., Li Z., Zou Y. Global output feedback practical tracking for time-delay systems with uncertain polynomial growth rate // Journal of The Franklin Institute 2015, 352, 5551-5568.

30 Jia X., Xu S. Global practical tracking by output feedback for nonlinear time-delay systems with uncertain polynomial growth rate // In Proceedings of the 2015 34th Chinese Control Conference (CCC), Hangzhou, China, 28-30 July 2015; pp. 607-611.

31 Jia X., Xu S., Ma Q., Qi Z., Zou Y. Global practical tracking by output feedback for a class of non-linear time-delay systems // IMA Journal of Mathematical Control and Information 2016, 33, 1067-1080.

***Н. ТАСБОЛАТУЛЫ¹, А. К. ЕРДЕНОВА^{1,2}, А. Е. НАЗЫРОВА^{1,2},
Г. Б. БАХАДИРОВА¹, С. С. АЛИШЕВА²***

¹Астана халықаралық университеті, Астана, Қазақстан;

*²Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
(E-mail: ¹tasbolatuly@gmail.com, ²erdenova_aigerim@mail.ru, ³ayzhan.nazyrova@gmail.com, ⁴gulnaz.bahadirova.84@mail.ru, ⁵sandu_alish@mail.ru)*

АНЫҚТАЛМАҒАН СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ЖҮЙЕЛЕР КЛАСЫ ҮШІН ГЛОБАЛДЫ ПРАКТИКАЛЫҚ ШЫҒЫСТЫ БАҚЫЛАУ

Бұл мақалада уақыт бойынша өзгеретін кідірісі бар анықталмаған сызықтық емес жүйелер класы үшін шығыс кері байланыс арқылы шығуды жаһандық практикалық басқару мәселесі

қарастырылады. Біріншіден, біртекті шығу кері байланыс контроллері қуат интеграторы технологиясын қосудың арқасында номиналды анықталмаған жүйеге бағытталады. Содан кейін, Ляпунов-Красовскийдің сәйкес функционалдығы мен төмен ретті бақылаушының көмегімен біртекті үстемдік тәсілін қолдана отырып және қуат интеграторы әдісін қоса отырып, жабық жүйенің барлық күйлері шектеулі болып қалуын және бір уақытта бақылау қатесін қалағаныңызша аз етуін қамтамасыз ететін шығыс кері байланыс контроллері сәтті жобаланды.

Түйін сөздер: сызықтық емес басқару жүйелері, Ляпуновтың тұрақтылығы, кері байланыс, математикалық модельдеу.

**N. TASBOLATULY¹, A. K. YERDENOVA^{1,2}, A. E. NAZYROVA^{1,2},
G. B. BAKHADIROVA¹, S. S. ALISHEVA²**

¹*Astana International University, Astana, Kazakhstan;*

²*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

(E-mail: Itasbolatuly@gmail.com, 2erdenova_aigerim@mail.ru, 3ayzhan.nazyrova@gmail.com, 4gulnaz.bahadirova.84@mail.ru, 5sandu_alish@mail.ru)

Global Practical Output Tracking for a Class of Uncertain Nonlinear Systems

This paper addresses the problem of global practical output control using output feedback for a class of uncertain nonlinear systems with time-varying delay. First, a homogeneous output feedback controller is designed for a nominally uncertain system by adding power integrator technology. Then, with the help of an appropriate Lyapunov-Krasovsky functional and a reduced-order observer, using the homogeneous dominance approach and adding a power integrator method, an output feedback controller is successfully designed to ensure that all states of the closed-loop system remain constrained while simultaneously making the tracking error arbitrarily small.

Key words: *nonlinear control systems, Lyapunov stability, feedback, mathematical modeling.*

**М. К. УАНДЫКОВА^{1*}, Л. М. БАЙТЕНОВА², С. Е. ЩЕПЕТОВА³,
К. С. АЛДАЖАРОВ¹, А. Д. ЕЛЕУКУЛОВА⁴, А. ДЖ. МАЙЛЫБАЕВА⁵**

¹«Нархоз» Университеті, Алматы, Қазақстан;

²«Туран» Университеті, Алматы, Қазақстан;

³Ресей Федерациясының Үкіметі жанындағы Қаржы университеті,
Алматы, Қазақстан;

⁴Казметинжиниринг, Алматы, Қазақстан;

⁵Атырауский университет им. Х.Досмухамедова, Атырау, Қазақстан

ИННОВАЦИЯЛЫҚ ЭКОНОМИКАНЫ БАСҚАРУ ҮШІН ШЕШІМДЕРДІ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕСІН МОДУЛЬДІК ҰЙЫМДАСТЫРУ

Мақалада экономиканы инновацияға айналдыру кезінде мемлекеттік даму бағдарламаларын басқару мәселелері қарастырылады. Бағдарламалық-нысаналы басқарудан бағдарламалық-жобалық басқаруға көшу ұсынылады. Экономикалық жүйелердің қазіргі заманғы теориясын мемлекеттік бағдарламаларды қалыптастыру және іске асыру кеңістігінің бүкіл жүйесіне қолдану арқылы мұндай ауысу негізделеді. Осындай ауысу негізінде басқарудың негізгі компоненттері төрт даму негізгі бөліктеріне айналады: объектілер, процестер, орталар және жобалар. Бұл басқару мақсаттары мен критерийлерін ресімдеуге және шешімдерді қолдау жүйесін құруға/дамытуға көшуге мүмкіндік береді. Жұмыста мемлекеттік даму бағдарламаларын басқаруды платформалық іске асыруды құрудың негізгі тәсілі берілген.

***Түйін сөздер:** мемлекеттік даму бағдарламалары, модельдеу, аналитикалық қолдау, шешімдерді қабылдауды қолдау жүйесі, платформа, мониторинг.*

Кіріспе. Қазіргі уақытта әлемнің барлық елдері әл-ауқат модельдерін қайта құру және өз экономикасын инновацияға айналдыру процестерінен өтіп жатыр. Қазақстан да шет қалып қалған емес. Экономиканы инновациялық экономикаға айналдыруға қабылданған бағытқа және жаһандық инновациялық индекспен сәйкес келетін даму стратегияларында қойылған көрсеткіштерге қарамастан, халықтың әл-ауқатын жақсартуға бағытталған мемлекеттік даму бағдарламалардың іс жүзінде іске асырудың тиімділігі төмен [1, 10]. Сонымен қатар, өсу траекториясын бағалауға мүмкіндік беретін жеткілікті дамыған формальды аппарат жоқ.

Ұлттық экономикалардың дамуын басқарудың негізгі құралы әлеуметтік-экономикалық дамудың мақсатты бағдарларының кешенді жүйесі ретінде стратегиялық және бағдарламалық құжаттар болып табылады. Бұл ретте мемлекеттік даму бағдарламаларын (МДБ) қалыптастыру тәсілдерімен, сондай-ақ бағдарламалық-нысаналы басқару қағидаттарына (бұдан әрі – БНБ) бағынатын осындай бағдарламаларды іске асыру нәтижелерімен проблемалар орын алады [5; 11].

«Ұлттық жүйелер мен оның деңгейлерінің (мезо-, микро-) дамуын басқару және жүйелік модельдеу проблемаларының теориялық және әдіснамалық аспектілерін талдау инновациялардың үш компонентті кеңістігінде жүзеге асырылатын инновациялар есебінен инновациялық дамуды экономикалық өсу ретінде қарастыру мүмкіндігі ту-

* E-mail корреспондирующего автора: mafura.uandykova@narхоз.kz

ралы қорытынды жасауға мүмкіндік берді: технологиялық – нақты секторда, валюта-лық-қаржылық – қаржы секторында және әлеуметтік – саяси-басқару секторында". Бұл сондай-ақ "микро-, мезо- және макроэкономикалық көрсеткіштерді зерттеудегі оқшауланған тәсілді жеңу үшін қажет, бұл олардың өзара шарттылығын ескермейді, бұл қазіргі экономикалық жүйелер теориясына (ҚЭЖТ) негізделген көп деңгейлі жүйелік тәсілді қажет ететін осындай байланысты көрсететін ресімделген көрсеткіштерді іздеуді талап етеді»[2].

Зерттеу әдістері. Мәселенің қойылымы. Қазақстан 2020 жылдан бастап мемлекеттік жоспарлаудың жаңа жүйесіне көшті, мемлекеттік даму бағдарламалары ұлттық жобаларға қайта форматталды [8-9]. Алайда, ұлттық жобаларға (ҰЖ) көшу, оларды қалыптастыру және іске асырылуын мониторингілеу жобаларды басқару институты (PMI) белгілеген ережелерден, атап айтқанда ANSI PMI PMBOK (Project Management body of Knowledge) стандартының жобаларды басқару қағидалары жинағынан алыс. Мемлекеттік бағдарламалар мен ұлттық бағдарламалардың нәтижелері түрінде сапалық көрсеткіштер-индикаторлар қарастырылады, бірақ әлеуметтік-экономикалық индикаторлардың нақты жай-күйі туралы көрсеткіштермен салыстыруға келмейтін нақты нәтиже емес. ҚР Президентінің 2023 жылғы 1 қыркүйектегі Жолдауында [11] "бюджетті басқарудан" "нәтижелерді басқаруға" көшу негізінде жобаларды қаржыландыруды басқару қажеттілігі туралы жарияланды". Бұл ҰБ және МБ басқарудың сапалы жаңа тәсілін талап етеді.

Мемлекеттік бағдарламаларды қалыптастыру және іске асыру тәсілдерінің қазіргі жай-күйінің кемшіліктерін егжей-тегжейлі сипаттамай, дамыған елдер мен ТМД елдерінің экономикалық күрделілік индексінің динамикасына ғана назар аударамыз. Яғни, әлемдік нарықта экономиканың жоғары бәсекеге қабілеттілігіне қол жеткізу, демек, мемлекеттік даму бағдарламалары мен ұлттық жобаларды іске асыруға үлкен бюджеттік шығындармен экономиканы инновацияға айналдыру әлі мүмкін емес. Сонымен, қазіргі кезеңде қалыптасқан және іске асырылып жатқан даму бағдарламалары бағдарламалардың қажетті нәтижелілігін бермейді деп сенімді түрде айтуға болады, өйткені 25 жылдан астам уақыт ішінде теріс динамика немесе шамалы өзгерістер байқалады [1, 7].

Бұл негізгі тұжырымдар инновациялық даму парадигмасын, инновациялық даму модельдерін қайта қарау, инновациялық даму бағдарламаларын қалыптастыру және іске асыру үшін мақсаттар мен өлшенетін нәтижелерді тұжырымдау қажеттілігі туралы гипотезаны қалыптастыруға мүмкіндік берді. Осылайша, осы құралдардың негізінде инновациялық даму бағдарламаларын қалыптастыруды да, іске асыруды да және пайдаланылатын ресурстардың (бюджеттік) ашықтығын қамтамасыз ететін басқару құралдарын жетілдіру талап етіледі.

Біз инновациялық дамудың инновациялық даму моделін ғалымдар ұсынған экономикалық жүйелердің қазіргі заманғы теориясына сәйкес инновациялық дамудың аталған үш бағыты (векторлары) бойынша төрт спираль ретінде қарастырамыз. PFA Орталық экономикалық-математикалық институт [3-4; 6] басқарудың 4 негізгі ішкі жүйесімен-барлық деңгейлерге таралатын объектілік, қоршаған орта, процесс және жобалық экономика. Бұл, біріншіден, бағдарламалық-жобалық басқаруға көшуге, екіншіден, әзірленіп жатқан барлық мемлекеттік бағдарламаларды және оларды бар-

лық деңгейлерде іске асыруды қарауға мүмкіндік береді. Осылайша, біз инновациялық дамудың экономикалық кеңістігін жүйелі құрылымдауын қарастыра аламыз.

Шешім қабылдауды қолдаудың заманауи жүйелері түрінде мемлекеттік даму бағдарламаларын қалыптастыру мен іске асыруды ақпараттық және аналитикалық қолдауға көше отырып, оның модульдері микро, мезо және макро деңгейге дейінгі пайдаланушыларға ақпараттық және аналитикалық бағытталуы керек екенін атап өтеміз. Даму бағдарламаларын қалыптастыру және іске асыру кезінде шешімдерді қабылдауды қолдау жүйелерін (СППР) әзірлеу, "басқару объектілерін сипаттауды, экономика құрылымындағы экономикалық жағдайды сипаттайтын негізгі факторлар-параметрлерді анықтауды, Елеулі көрсеткіштерді бағалауды, мемлекеттік даму бағдарламаларын тиімді іске асыру үшін басқарушы әсерлерді таңдауды талап етеді. Мұның бәрі даму бағытын анықтау қажет дегенді білдіреді: бастапқы күйді бағалай білу, қай бағытта қозғалу керектігін, қандай қорытынды күйге жылжу керектігін білу: бастапқы және соңғы нәтиже нүктелері".

Шешім қабылдауға негізделген процесс 1-суретте көрсетілген, бұл әр кезеңнен/фазадан ертерек кезеңдерге оралу мүмкіндігін көрсетеді. Шешім қабылдаудың канондық процесі деп аталатын схеманың егжей-тегжейлі сипаттамасы мыналарда [12-13] берілген. Шешім қабылдау көбінесе шешім қабылдау нүктесі деп аталатын жағдайда немесе уақытта шешім қабылдаушыға қол жетімді баламалар жиынтығынан шешім таңдауға дейін азаяды. Таңдау көптеген болжамдарды, критерийлерді, мақсаттарды, атрибуттарды, шектеулерді және белгісіз шарттарды ескере отырып жүзеге асырылады.



Сурет 1 – Шешім қабылдау процесі

Нәтижелер және талқылау. Жүйені модельдеу. Шешімдерді қабылдаудың қолдау жүйесінің құрамдас бөліктеріне 2-суретте көрсетілгендей деректерді басқару, модельдерді басқару, пайдаланушы интерфейсі, білімді басқару және пайдаланушылар кіреді.

а) *Деректерді басқару.* Деректерді басқару компоненті шешім қабылдау үшін әртүрлі деректерді сақтайтын мәліметтер базасын, сондай-ақ мәліметтер базасы мен білімді басқару жүйесін қамтиды. Шешім қабылдау жүйесіндегі ДББЖ функциясы шешім қабылдау үшін деректерді сақтау және ұсыну болып табылады.

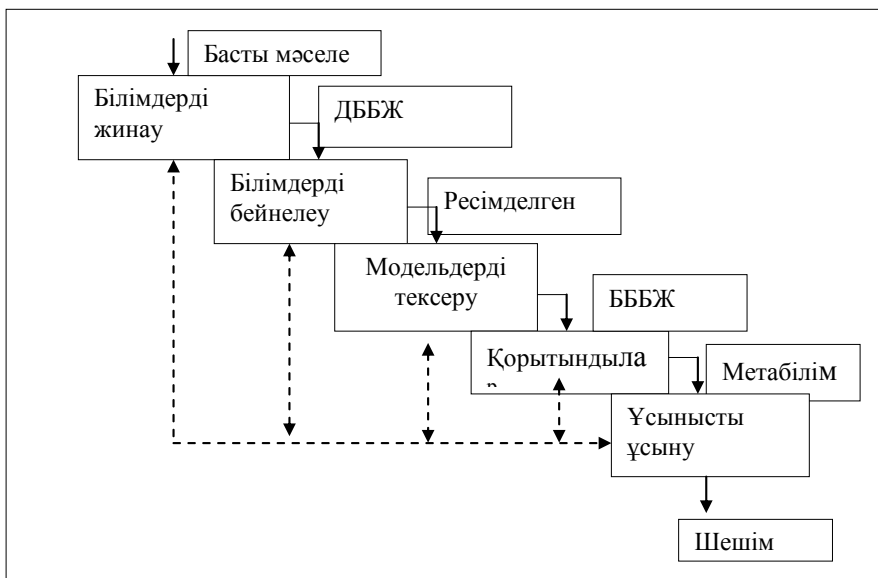
б) *Модельдерді басқару.* Модельдерді басқару компоненті шешім қабылдауға қажетті әртүрлі модельдерді сақтайтын модельдер базасын, сондай-ақ модельдер базасын басқару жүйесін қамтиды (МББЖ). Атап айтқанда, МББЖ шешім қабылдауға қажетті модельдерді әзірлеу, өзгерту және бақылау функцияларын ұсына отырып, шешім қабылдауды қолдауда шешуші рөл атқарады.

с) *Пайдаланушы интерфейсі (немесе деректер көрмесі).* Пайдаланушы интерфейсі – деректерді импорттау және экспорттау және әртүрлі аналитикалық процеду-

раларды орындау үшін пайдаланушы мен жүйе арасындағы интерфейсін қамтамасыз ететін модульдік жүйе. Ол сондай-ақ диалогты құру және басқару бағдарламалық құралы ретінде белгілі, өйткені ол мәзірлер немесе графикалық өңдеу пішімдері арқылы түсінуге және пайдалануға оңай пайдаланушыға ыңғайлы диалог мүмкіндіктерін қамтамасыз етеді.

д) *Білімдерді басқару*. Бұл модуль күрделі деректер арасындағы қатынастар туралы сандық ақпарат береді. Білімді басқару нақты деректердің болжамды мәндерден ауытқуын көрсете отырып, шешім қабылдаушыларға, білімге және балама мәселелерді шешуге мүмкіндік береді.

е) *Пайдаланушылар*. Шешім қабылдауды қолдау жүйесін пайдаланатын пайдаланушылар, ең алдымен, белгілі бір міндеттерді жүзеге асыруға жауап беретін экономикалық жүйенің иерархиясының әр деңгейінің тұлғалары болып табылады. Олар модельдер базасынан ең қолайлы модельді таңдайды, деректерден қажетті деректерді енгізеді немесе оны тікелей модельге импорттайды, содан кейін ең жақсы баламаны анықтау үшін нұсқаларды бағалайды және талдайды.



Сурет 2 – Шешімдерді қолдау жүйесінің компоненттері

Соңғы жылдары жүйелерге дербес шешім қабылдауға мүмкіндік беру үрдісі күшейе түсті. Шешім қабылдауды автоматтандыруды немесе автоматтандырылған шешім қабылдауды (АШК) тарату жолындағы негізгі қиындықтар мыналармен байланысты: іс-әрекеттер мен жоспарлардың тиімді және толық негіздемесін қамтамасыз ету; адамның қалауын сенімді есепке алу [18-20].

Басты мәселе – мемлекеттік даму бағдарламаларының шешім қабылдау тетіктері жүйе жүзеге асыратын шешім қабылдау процесін (немесе процестің бөліктерін) дамыту және қолдау үшін жеткілікті негізделмеген теориялық негіздермен және шешім қабылдаудың әдіснамалық тәсілдерімен әзірленеді және жүзеге асырылады [14-16].

Мәселенің функционалдық, процедуралық және құрылымдық аспектілері және оның салалары модельде бекітіліп, талдануы керек. Шешімдерді басқару аспектілері, мысалы, шешімдерді жазу, іске асыруды бақылау, орындалу мониторингі, кері байланысты жинау және сақтау, есептер шығару және ұшуды талдау — бұл шешім қабылдауды қолдаудың интеллектуалды жүйесінің, оның тұжырымдамалық моделінің бөліктері. Біз барлық бөліктердің өзара әрекеттесу мүмкіндігімен жүйені және шешім қабылдауды құра отырып, тұжырымдамалық модельдеудің ресми семантикасын қолданамыз. Бұл тәсілдің үш артықшылығы бар:

а) шешімдерді талдау семантикасына негізделген шешім қабылдаудың нақты анықталған моделі;

ә) негізгі жүйенің функционалдығы мен шешім қабылдау функционалдығының интеграцияланған, біртұтас моделі;

б) шешім қабылдауды жеңілдету, сұрақтарға жауап беру: Қалай? Қайда? және Қандай факторлар шешілуі керек?, Оларды кім қабылдауы керек? (адам немесе машина) және Қандай жағдайда? Шешім қабылдау процестерін жобалауға және жүзеге асыруға жүйелік тәсілді қолдана отырып, біз келесі аспектілерді анықтап, нақтылауымыз керек:

1) шешім қабылдауға қойылатын функционалдық және техникалық талаптар;

2) сәйкестік, және шешім қабылдау процесінің механизміне қызмет көрсету, басқа жүйелермен байланыс және жүйелік процестерді көруіміз керек;

3) сыртқы жүйелерге, пайдаланушылардың репозиторийлеріне интерфейстер;

4) шешім қабылдауға байланысты деректерді, ақпарат пен білімді, есептеу ресурстарын, пайдаланушы енгізетін деректерді, шолулар мен артықшылықтарды қоса алғанда, шешім қабылдау процесін сәтті орындау үшін жүйе қол жеткізе алатын ресурстар;

5) нақты реакция және кері байланыс;

6) негізгі құрылым ОРМ болып табылады, бұл – объект-процесс әдістемесі. Күрделі және динамикалық жүйелерді модельдеу және жобалау үшін құрылымдық тұжырымдамалық негіз болып табылады.

Шешім қабылдау процестерін әзірлеуге және жүзеге асыруға жүйелі тәсілді қолдану арқылы біз келесі аспектілерді анықтаймыз және нақтылаймыз:

1. Шешім қабылдауға қойылатын талаптар функционалды және техникалық болып табылады.

2. Басқа жүйелік процестер контекстіндегі шешім қабылдау механизмінің байланысы, сәйкестігі және қызмет көрсетуі.

3. Сыртқы жүйелермен, репозиторийлермен және пайдаланушылармен байланысты интерфейстер.

4. Шешім қабылдау процесін сәтті жүзеге асыру үшін жүйе қол жеткізе алатын ресурстар, соның ішінде шешім қабылдауға қатысты деректер, ақпарат пен білім, пайдаланушы деректерімен енгізілген есептеу ресурстары, кері байланыс және артықшылықтар.

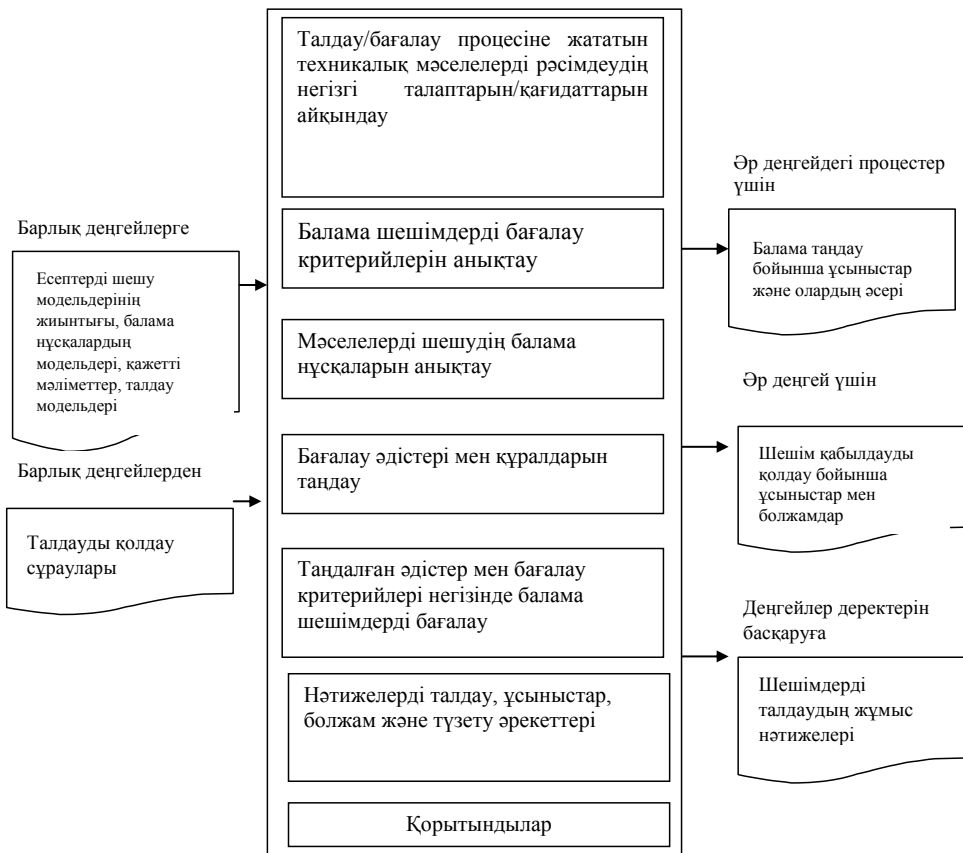
5. Нақты уақыттағы реакция және кері байланыс.

Күрделі жүйелерді жобалау шешім қабылдаудың алдында мінез-құлық-басқарушылық және аналитикалық сипаттағы міндеттерді қояды. Шешімдерді қолдау мүмкіндіктері шешім құжаттамасынан жасанды интеллектке дейін өзгерулі мүмкін.

Шешімдерді қолдау жүйесін жүйелі түрде құруға қойылатын негізгі талаптар. Зерттеудің негізгі кезеңдері (3-сурет): мәселенің ауқымын анықтау, мүдделі тараптармен байланыс, бағалау критерийлері және салмақтарды анықтау, баламаларды анықтау және сүзу, басымдық көрсеткіштеріне негізделген балама шешімдерді бағалау, нәтижелерді талдау және ең жақсы баламаны таңдау, таңдауды шолу және қайта бағалау, іске асырудың әсерін талдау және тестілеу және болжамдарды тексеру.

Жүйеге әр түрлі қиындық пен сәйкестік деңгейіндегі осы тапсырмалардың кезкелген жиынтығын тапсыруға болады. Шешім қабылдаудың маңыздылығы және оны жүйелі мақсаттарға жету үшін ақпаратты жеңілдетілген басқарудан және сыртқы баламаларды қалыптастырудан тиімді іске асыру автоматтандырылған, көп өлшемді және уақтылы шешім қабылдауға көшуге түрткі болады [17, 21].

Балама шешімді бағалау кезінде белгісіздік пен тәуекелді ескеру қажет. Процестің ең жоғары деңгейінде белгісіздіктің болуын атап өту керек, өйткені белгісіздік кез келген шешім қабылдау мәселесінің ажырамас бөлігі болып табылады. Шешімнің түпкілікті таңдауы әртүрлі көзқарастары мен мүдделері, ақпараттың қолжетімділігі және қарастырылып отырған мәселені түсінуі бар бірқатар шешім қабылдаушыларды ойларын ескеруі керек.



Сурет 3 – Шешімдерді қолдаудың жүйелік жүйесіндегі шешімдерді талдау процесі

Қорытынды. Жұмыста мемлекеттік даму бағдарламаларын қалыптастыру және іске асыру, оларды жүйелі талдау тәсілдерін және (экономикалық жүйелердің қазіргі заманғы теориясын) қолдану негізінде тиімді іске асыру мәселелеріне қатысты негізгі проблемалар қарастырылды). Шешім қабылдауды қолдаудың интеллектуалды жүйесі негізінде осы процестерді платформалық іске асырудың тұжырымдамалық моделі ұсынылған. Экономикалық жүйелердің заманауи теориясын қолдану қажеттілігі туралы қорытынды жасалды және шешімдерді қолдау жүйесінің модульдік архитектурасы ұсынылды.

Зерттеу Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ғылым комитетінің (грант № AP19678174) қаржылық қолдауымен жүзеге асырылды.

ӘДЕБИЕТ

1 Атлас трансформации Бертельсманна – URL: [https://atlas.bti-project.org/1*2022*CV:CTC:SELKAZ*CAB*KAZ*REG:TAB]

2 Ван Вэйнань, У Синьтун, Мэй Лян. Инновационная экосистема: систематический обзор с контекстуальной точки зрения. Управление научными исследованиями, 2019, 40(9). – С. 25-36.

3 Клейнер, Г.Б. Государство – регион – отрасль – предприятие: каркас системной устойчивости экономики России. // Экономика региона. – 2015. – № 2. – С. 50-58.

4 Клейнер, Г.Б. Мезоэкономика развития. – М.: Наука, 2011. – 805 с.

5 Краткое заключение к отчету Правительства Республики Казахстан об исполнении республиканского бюджета за 2022 год. Счетный комитет по контролю за исполнением республиканского бюджета, г. Нур-Султан, 2020. – 26 с. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/470570?lang=ru> (02.10.2023).

6 Макаров В. Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование — новый компьютерный про-рив. Агенториентированные модели. – М.: Экономика, 2013. – 295 с.

7 Мэнеску, М. Экономическая кибернетика. – М.: Экономика, 1986. – 318 с.

8 Эшби У. Введение в кибернетику. – М.: Иностранная литература, 1959. – 432 с.

9 О некоторых вопросах национальных проектов. Совместный приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 11 августа 2021 года № 79 и Председателя Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан от 12 августа 2021 года. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023968> (05.10.2023)

10 Официальный информационный ресурс Премьер–Министра Республики Казахстан. Стратегический план 2025. – URL: <https://primeminister.kz/ru/documents/gosprograms/stratplan-2025> (01.09.2023).

11 Послание Главы государства К-Ж. Токаева народу Казахстана «Экономический курс Справедливого Казахстана» от 1 сентября 2023 года. – URL: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-ekonomicheskij-kurs-spravedlivogo-kazahstana-18588> (08.10.2023)

12 Уандыкова, М. Системное моделирование процессов формирования и реализации программ инновационного развития регионов: специальность 08.00.13; 08.00.05: диссертация на соискание ученой доктора экономических наук / Уандыкова Мафура; ФГБОУ ВО Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации. – М., 2021. – 369 с.

13 Уандыкова, М.К. Модели и методы реализации программы инновационного развития региона // Бизнес. Образование. Право. – 2019. – № 1 (50). – С. 131-137.

14 Acs, Z.J., Audretsch D.B., Lehmann E.E. Licht National systems of innovation // The Journal of Technology Transfer. – 2017. – No. 42 (5). – Pp. 997–1008. – DOI 10.1007/s10961 –016–9481–8.

15 Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management // EL-SEVIER. 2015. – No. 65. – С. 278-284.

16 Bakhmut, A.D., et al. Methods of Conceptual Modeling of Intelligent Decision Support Systems for Managing Complex Objects at All Stages of Its Life Cycle. In book: Proceedings of the Third International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI’18), 2019. – Vol. 2. – Pp.171-180. DOI:10.1007/978-3-030-01821-4_18.

17 Bergman E.M., Feser E.J. Industrial and Regional Clusters: Concepts and Comparative Applications. – Morganton: West Virginia University, 2020. – 93 p.

18 Chen J., Yin X., Mei L. Holistic Innovation: An Emerging Innovation Paradigm. International Journal of Innovation Studies. – 2018. – No. 2. – Pp. 1-13.

19 Christensen M., Raynor M., McDonald R. What is disruptive innovation? = Что такое прорывная инновация? Harvard Business Review. – 2015. URL: <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation> (28.03.2020).

20 Costanza R., Kubiszewski I., Giovannini E. Development: Time to leave GDP behind = Развитие: время оставить ВВП позади // Nature News. – 2014. – No. 7483. – Vol. 505. – Pp. 283–285. – DOI 10.1038/505283a.

21 Lisin A., Shvandar K., Meynkhart A., Uandykova M., Litvishko O., Tabachkova X. Digital trading applications and bank performance: evidence from Russia // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2021. – No. 7(3). – 194 p. –doi.org/10.3390/joitmc7030194

REFERENCES

1 Atlas transformacii Bertelsmanna – URL: [https://atlas.bti-project.org/1*2022*CV:CTC:SELKAZ*CAT*KAZ*REG:TAB]

2 Van Vejnau, U Sintun, Mej Lyan. Innovacionnaya ekosistema: sistematičeskij obzor s kontekstualnoj točki zreniya. Upravlenie nauchnymi issledovaniyami, 2019, 40(9). – S. 25-36.

3 Klejner, G.B. Gosudarstvo – region – otrasl – predpriyatie: karkas sistemnoj ustojčivosti ekonomiki Rossii. // Ekonomika regiona. – 2015. – № 2. – S. 50-58.

4 Klejner, G.B. Mezoekonomika razvitiya. – M.: Nauka, 2011. – 805 s.

5Kratkoezaklyuchenie k otchetu Pravitelstva Respubliki Kazahstan ob ispolnenii respublikanskogo byudzheta za 2022 god. Schetnyj komitet po kontrolyu za ispolneniem respublikanskogo byudzheta, g. Nur-Sultan, 2020. – 26 s. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/esep/documents/details/470570?lang=ru> (02.10.2023).

6 Makarov V. L., Bahtizin A.R. Socialnoe modelirovanie — novyj kompyuternyj proryv. Agentorientirovannye modeli. – M.: Ekonomika, 2013. – 295 s.

7 Menesku, M. Ekonomičeskaya kibernetika. – M.: Ekonomika, 1986. – 318 s.

8 Eshbi U. Vvedenie v kibernetiku. – M.: Inostrannaya literatura, 1959. – 432 s.

9 O nekotoryh voprosah nacionalnyh proektov. Sovmestnyj prikaz Ministra nacionalnoj ekonomiki Respubliki Kazahstan ot 11 avgusta 2021 goda № 79 i Predsedatelya Agentstva po strategičeskomu planirovaniyu i reformam Respubliki Kazahstan ot 12 avgusta 2021 goda. – URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100023968> (05.10.2023)

10 Oficialnyj informacionnyj resurs Premer–Ministra Respubliki Kazahstan. Strategičeskij plan 2025. – URL: <https://primeminister.kz/ru/documents/gosprograms/stratplan-2025> (01.09.2023).

11 Poslanie Glavy gosudarstva K-Zh. Tokaeva narodu Kazahstana «Ekonomičeskij kurs Spravedlivogo Kazahstana» ot 1 sentyabrya 2023 goda. – URL: <https://www.akorda.kz/ru/poslanie-glavy-gosudarstva-kasym-zhomarta-tokaeva-narodu-kazahstana-ekonomičeskij-kurs-spravedlivogo-kazahstana-18588> (08.10.2023)

12 Uandykova, M. Sistemnoe modelirovanie processov formirovaniya i realizacii programm innovacionnogo razvitiya regionov: specialnost 08.00.13; 08.00.05: dissertaciya na soiskanie uchenoj doktora ekonomicheskikh nauk / Uandykova Mafura; FGOBU VO Finansovyj universitet pri Pravitelstve Rossijskoj Federacii. – М., 2021. – 369 s.

13 Uandykova, M.K. Modeli i metody realizacii programmy innovacionnogo razvitiya regiona // Biznes. Obrazovanie. Pravo. – 2019. – № 1 (50). – S. 131-137.

14 Acs, Z.J., Audretsch D.B., Lehmann E.E. Licht National systems of innovation // The Journal of Technology Transfer. – 2017. – No. 42 (5). – Rr. 997–1008. – DOI 10.1007/s10961–016–9481–8.

15 Alyoubi B.A. Decision support system and knowledge-based strategic management // ELSEVIER. 2015. – No. 65. – S. 278-284.

16 Bakhmut, A.D., et al. Methods of Conceptual Modeling of Intelligent Decision Support Systems for Managing Complex Objects at All Stages of Its Life Cycle. In book: Proceedings of the Third International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ИТИ’18), 2019. – Vol. 2. – Rp.171-180. DOI:10.1007/978-3-030-01821-4_18.

17 Bergman E.M., Feser E.J. Industrial and Regional Clusters: Concepts and Comparative Applications. – Morganton: West Virginia University, 2020. – 93 r.

18 Chen J., Yin X., Mei L. Holistic Innovation: An Emerging Innovation Paradigm. International Journal of Innovation Studies. – 2018. – No. 2. – Rr. 1-13.

19 Christensen M., Raynor M., Mcdonald R. What is disruptive innovation? = Chto takoe proryvnaya innovaciya? Harvard Business Review. – 2015. URL: <https://hbr.org/2015/12/what-is-disruptive-innovation> (28.03.2020).

20 Costanza R., Kubiszewski I., Giovannini E. Development: Time to leave GDP behind = Razvitie: vremya ostavit VVP pozadi // Nature News. – 2014. – No. 7483. – Vol. 505. – Rr. 283–285. – DOI 10.1038/505283a.

21 Lisin A., Shvandar K., Meynkhard A., Uandykova M., Litvishko O., Tabachkova X. Digital trading applications and bank performance: evidence from Russia // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2021. – No. 7(3). – 194 p. –doi.org/10.3390/joitmc7030194

**М. К. УАНДЫКОВА¹, Л. М. БАЙТЕНОВА², С. Е. ЩЕПЕТОВА³,
К. С. АЛДАЖАРОВ¹, А. Д. ЕЛЕУКУЛОВА⁴, А. ДЖ. МАЙЛЫБАЕВА⁵**

¹ Университет «Нархоз», Алматы, Казахстан;

² Университет «Туран», Almaty, Kazakhstan;

³ Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации;

⁴ Казметинжиниринг, Алматы, Казахстан;

⁵ Атырауский университет им. Х.Досмухамедова

МОДУЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКОЙ

В статье рассматриваются проблемы управления государственными программами развития при трансформации экономики в инновационную. Предлагается переход от программно-целевого управления к программно-проектному. Обосновывается такой переход применением современной теории экономических систем ко всей системе пространства формирования и реализации государственных программ. На основе такого перехода базовыми компонентами управления становятся четыре спирали развития: объекты, процессы, среды и проекты. Это позволяет осуществлять

формализацию целей и критериев управления и перейти к построению/разработке системы поддержки принятия решений. В работе дан основной подход построения платформенной реализации управления государственными программами развития.

Ключевые слова: государственные программы развития, моделирование, аналитическое сопровождение, система поддержки принятия решений, платформа, мониторинг.

**M. K. UANDYKOVA¹, L. M. BAITENOVA², S. E. SHCHPETOVA³,
K. S. ALDAZHAROV¹, A. D. ELEUKULOVA⁴, A. DZH. MAILYBAYEVA⁵**

¹ Narkhoz University, Almaty, Kazakhstan;

² Turan University, Almaty, Kazakhstan;

³ Financial University under the Government of the Russian Federation;

⁴ Kazmedineering, Almaty, Kazakhstan;

⁵ Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan

MODULAR ORGANIZATION OF A DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MANAGING AN INNOVATIVE ECONOMY

The paper examines the problems of managing state development programs during the transformation of the economy into an innovative one. A transition from program-target management to program-design management is proposed. This transition is justified by applying the modern theory of economic systems to the entire system of space for the formation and implementation of government programs. Based on this transition, four spirals of development become the basic components of management: objects, processes, environments, and projects. This allows you to formalize management goals and criteria and move on to the construction/development of a decision support system. The work provides the main approach to constructing a platform implementation of management of state development programs.

Key words: state development programs, modeling, analytical support, decision support system, platform, monitoring.

**T. SHORMANOV^{1*}, T. MAZAKOV^{1,2}, SH. JOMARTOVA¹, M. ALIASKAR¹,
A. MAZAKOVA¹, A. ZHAKSYMBET¹**

¹*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan;*

²*Research Institute of Mathematics & Mechanics at Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan*

CREATION OF A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR FINGERPRINT IDENTIFICATION

In this paper, we have studied the following biometric identification of a person by fingerprints. The methodology of the experimental studies is considered, the process of processing the results of identification is described. This paper develops a system of human recognition by fingerprints. The recognition system is designed for data storage, further processing, identification and display of fingerprint images. FPM10A scanner and Arduino microcontroller are used for biometric human identification by fingerprints. The paper considers the Distinguishing features of finger papillary patterns by their structure. Fingerprint matching results with different rotation through the scanner. The article deals with image processing algorithms for biometric identification by fingerprints. Distinguishing features of finger papillary patterns by their structure were investigated, considering different pressures, velocities, directions, ambient temperatures, humidity, etc. levels result in different images. Thanks to various algorithms for Digital image processing and analysis, represented by the SIFT and SURF descriptors, allows for quick characterization of each image.

We used a photographic database obtained from public sources – Fingerprint Verification Competition 2004 (FVC2004). As a result, the graphical representation as well as the number of matching keypoints by fingerprints were investigated. The search for key points is performed using the Hesse matrix. The determinant of the Hesse matrix (Hessian) is maximal at the point where the change in luminance gradient is maximum. Fingerprints were acquired using the "Cross Match V300" optical sensor. In the experiment, the software developed system is invariant to image rotations.

Key words: *Biometrics, fingerprints, identification system, papillary patterns, fingerprint comparison.*

Introduction. There are many ways to protect both information and physical objects, which are used depending on the required level of security for a particular object. One of these methods of protection are biometric systems [1-2], more specifically fingerprint-based identification systems. Such systems have become widespread and have good prospects for further development due to their adaptability. The introduction of biometric technology, and in particular fingerprint recognition, greatly enhances the degree of object security, and significantly increases the quality of identification by eliminating the need for a special card, badge, key, you only need a unique fingerprint, which cannot be forgotten or lost. Systems based on fingerprinting compare the memory print obtained with other prints stored in the system's databases or with the print of a particular person, the method of comparison also depends on the application of this technology [3]. Fingerprints were first addressed in 1877, when the Englishman William Herschel hypothesized the uniqueness and immutability of the papillary pattern on the palms of men [4]. The first mention of the use of fingerprinting techniques for criminal identification dates back to 1902 in Great Britain.

* E-mail корреспондирующего автора: tt007@mail.ru

There is evidence that dactyloscopy was of interest to people long before 1877, as an example of this is chiromancy (an ancient type of divination by the papillary and flexor lines of the palm of a person). Thus, historically, at the initial stage, fingerprints and fingerprints found the greatest use in forensics, and are still relevant, but already on a larger scale.

Research methods

As authentication information in this case are taken into account the original and inherent characteristics of the person. Authentication methods based on the measurement of human biometric parameters provide almost 100% identification, solving the problem of lost passwords and personal identifiers.

The most commonly used ones are:

1) Fingerprints. It is known that they are unique to each person, and do not change throughout life. To scan fingerprints is used the cheapest equipment (compared with other methods of biometric authentication), besides, this method is familiar to users and does not cause any worries. However, it is believed that inexpensive fingerprint scanners can be fooled by a specially made artificial finger.

2) Improving the reliability of identity authentication systems is an urgent scientific and technological challenge. The accuracy of identification (establishment) and identification (confirmation) depends largely on the adequacy of the mathematical model implemented. Theoretical studies of the problems under consideration are devoted to the works of [5-6].

Main part

Algorithms of biometric identification by fingerprints. Due to its forensic value, traces of human hands occupy the first place in the group of methods of identification of persons. This is explained as its frequency of detection, the fact that with its help one can quickly enough identify the person who left the fingerprints, as well as identify the relationship of this person with other incidents in which the same fingerprints were found. Such possibilities are due to the peculiarities of the structure of the skin on the fingers of the hand, namely the uniqueness of the papillary patterns. Fingerprints or parts of the palm provide many opportunities for identification and for limiting the list of suspects.

Identification signs of finger teat patterns are usually divided into global and local signatures [7].

Global Signatures you can see with the naked eye include. Such features include Type and type of capillary pattern, direction and steepness of capillary line flow, structure of the central pattern, structure of delta, number of capillary lines from center to delta, and many other features.

Another feature is that local. Also called minutiae (features, special points). Unique features that are unique to a particular print and determine the points of change in the structure line's (termination, division, breakage, etc.), the direction of the line, and the coordinates at these points. A single print may contain up to 70 or more miniatures.

Several types of descriptors were used in this study: SIFT, SURF, and ORB [8]. An analysis of the effectiveness and speed of technologies and algorithms for facial biometrics leads to the following conclusions.

Using the approach based on the allocation of key points in the image for biometric identification by fingerprints, allows to create on its basis a software system for rapid recognition of fingerprints and the subsequent search.

SURF/SIFT algorithms have better classification abilities when solving domestic search problems on textured images. Both algorithms require more hardware and are suitable for other computer vision tasks. Both algorithms are patented, and commercial use is prohibited without the consent of the copyright holders. "Overpowered" in the fingerprinting task.

ORB algorithm has higher speed compared with the above algorithms SIFT / SURF methods and is more suitable for fingerprint biometric identification tasks. The ORB algorithm descriptor is a binary descriptor and checking for a match for such descriptor, the sum of the Hamming distances for each byte of the descriptor is. The application of this algorithm is suitable for search tasks due to the fact that it is not a complete fingerprint.

Analysis based on comparison of local features - minutiae are the most common approach for identification due to the widespread belief that they are the most legible and reliable features [9-10]. However, this method creates serious problems related to the large distortions caused by matching fingerprints with different rotations. An example of such a match is shown below (Image 1) Distortions from the FVC2004 DB1 database (102_3.tif and 102_5.tif). Fingerprints look too similar to each other to fit standard image searches.

Fingerprints of the same person never look the same on two readings. Different pressure, speed, direction, ambient temperature, skin moisture/humidity, etc. will result in different images. Also, in [11] there is an example of age-related changes in fingerprints, with age fingerprints become less clear and can change.



Image 1 – Results of matching fingerprints in different rotations

The task of biometric identification by fingerprints refers to one of the problems solved by modern image processing algorithms. We used a photographic data base obtained from public sources – Fingerprint Verification Competition 2004 (FVC2004) [12], and the result of the work: a graphic image of matching number of matches between keypoints and fingerprint keypoints. In FVC2004, the emphasis is on distortion, and on imaging dry and wet fingerprints. Fingerprints are acquired with an optical sensor "CrossMatch V300".

There are certain correlations between discriminative features of the structure of the nipple pattern of the same person obtained at different times, which need to be established. For this purpose, we use a so-called precedent, i.e., a set of fingerprint images that have already been identified using this algorithm.

Such a precedent is called a training sample. Based on them, the most appropriate processing and classification algorithm is chosen. Several types of descriptors were considered and used in this study, including SIFT, SURF, and ORB descriptors.

Analysis of search algorithms and identification by image showed that for the task of identification by fingerprint is effective to use the key point descriptors, due to the fact that they provide a high degree of accuracy fingerprint classifier (descriptor), and also have a good function of identification by partial fingerprint, an example of displays a 30-item evaluation in Figure 2.

Experimental study of biometric identification by fingerprints, the developed software system, created based on the proposed method of finding key points, was shown to be invariant to image rotation. Capable of operating in a wide range of light varies up to 50-70% of the light intensity in the image and is invariant to changes in scale and minor distortions.



Figure 2 – Evaluation of 30 keypoint descriptors ORB (left), SIFT (center), SURF (right)

Discussion

Practical implementation. Secure systems can be accessed through passwords and keys, both of which can be inconvenient and easily forgotten. FPM10A module with Adafruit Arduino library was used to create a block of biometric system for human identification by fingerprints [13-14].

Figure 3 shows the elements of the image acquisition and fingerprint identification unit. The specified unit is implemented based on the Arduino UNO controller.



1 – FPM10A optical fingerprint scanner; 2 – Arduino UNO;
3 – wires to connect the scanner to the Arduino; 4 – USB cable for Arduino

Figure 3 – Fingerprint scanner

Arduino is a device based on the ATmega 328 microcontroller [15-16]. It contains everything needed for simple microcontroller operation: 14 digital I/Os (6 of which can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz crystal pickup, a USB connector, a power connector, an on-chip programming socket (ICSP) and a reset button. To start working with the device, simply power it up with an AC/DC adapter or battery or connect it to a computer via a USB cable.

Optical fingerprint scanner - a module that can be used with Arduino and other microcontrollers [15]. Capable of storing fingerprints (1000 fingerprints) with their further identification. Used in places of strict secrecy, as a kind of password key access, based on scanning and verification of fingerprints from a database.

Another function of fingerprints is general matching. Like everything in the human body, the finger pattern is formed through a combination of genetic and environmental factors. The genetic code in DNA forms the general basis of skin patterning [17].

FPM10A Fingerprint Scanner Specifications:

- power supply voltage from 3.6 to 6 volts DC.
- operating current up to 120mA, peak current - 140 mA.
- fingerprint scanning time of up to 1 second.
- scan window size: 14 x 18 mm.
- interface: UART (TTL logical level) or USB2.0/USB1.1.
- interface: UART (TTL logical level) or USB2.0/USB1.1.
- temperature working environment from - 20C to + 50C.
- relative humidity 40 % RH to 85 % RH (no condensation).
- size: 56 x 20 x 21.5 mm.
- weight: up to 40 gr.
- Chinese production.

When using the fingerprint sensor, there are two basic steps. First, the data is written to the sensor memory, that is, a unique ID is assigned to each fingerprint, which will be used for comparison later. After recording, you can proceed to "Search" while comparing the image of the current print with the image recorded in the sensor memory [18-19].

To record fingerprints included software for Windows (this is the easiest and most convenient option because can see in the pictures that are taken) or sketch for Arduino (relevant for those who do not have Windows).

Recording new prints through a Windows program

As mentioned above, the easiest way to write new data to the optical fingerprint sensor memory is through a Windows program. Unfortunately, there is no software for other operating systems.

First, the sensor must be connected to the computer using a USB-to-serial converter (Figure 4). Loading the "blank sketch" on the Arduino:

```
// this sketch gives us a way around the Atmega chip
// and connect the fingerprint sensor directly to the USB/Serial converter
// Red is connected to +5V
// Black connects to Ground
```

```
// white is connected to Digital 0  
// Green is connected to Digital 1  
voidsetup() {}  
voidloop() {}
```

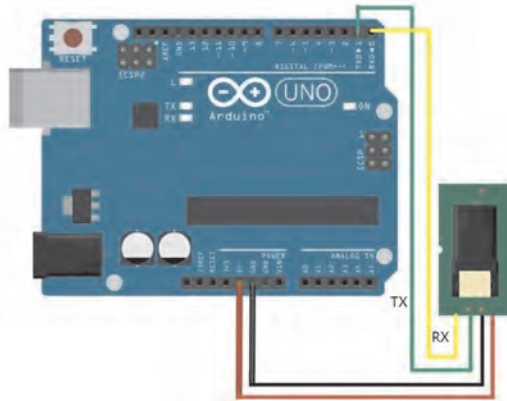


Figure 4 – Diagram for connecting the scanner to the Arduino

Using the SFGDemo program (Figure 5) and ArduinoIDE, new fingerprints are loaded, assigning each one a new ID #. All uploaded fingerprint images are encrypted (Figure 6).

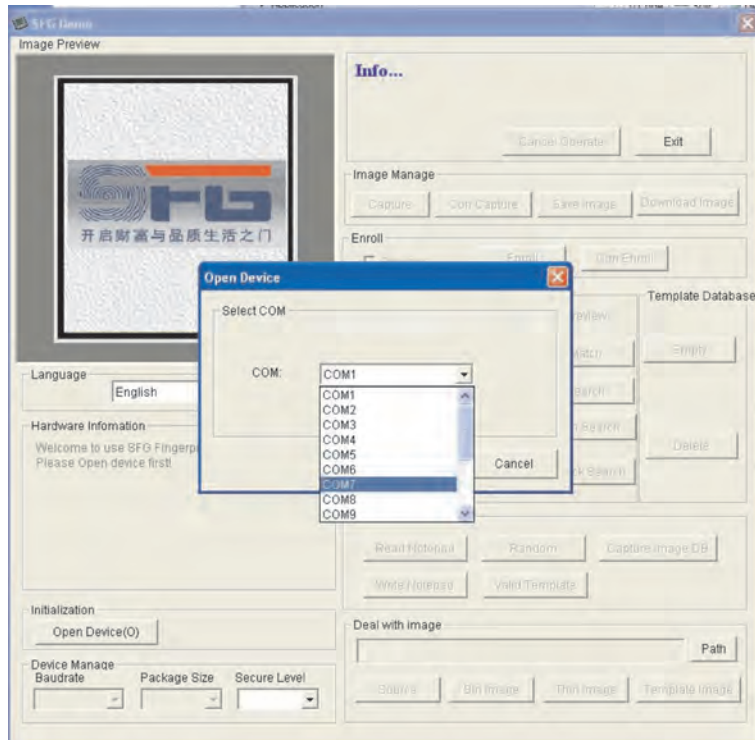


Figure 5 – SFGDemo program




Figure 6 – Uploading fingerprints to the database

After loading the fingerprints into the base, disconnect the green and white contacts and connect the green conductor to contact digital 2, and the white conductor to digital 3. Using the "Adafruit_Fingerprint" library, load an example "fingerprint" sketch onto Arduino IDE. Open the serial monitor window by setting the baud rate to "9600 baud" and, when prompted, put your finger on the fingerprint sensor [20].

In Figure 7 you can see the percentage of matching. Fingerprints that do not match the fingerprints stored in the database are ignored by the scanner.

Conclusion. During this work the following tasks were investigated: the methodology of the experimental studies was analyzed, the process of processing the results using a biometric scanner for human identification by fingerprints was described. A promising area of use of the FPM10A module with the Adafruit Arduino library is the addition of software products for search by non-full fingerprints are often only part of the actual fingerprint to be searched for a match. Using the approach based on the allocation of key points in this image is for biometric authentication by fingerprint, allows to create on its basis a software



```
COM5
Тестируем сканнер отпечатков пальцев
Сенсор обнаружен!
Сенсор хранит 10 отпечатков пальцев
В ожидании отпечатки пальца...
Найдено ID #0 совпадение 100
Найдено ID #5 совпадение 100
Найдено ID #7 совпадение 79
Найдено ID #8 совпадение 100
Найдено ID #9 совпадение 100
Найдено ID #2 совпадение 57
Найдено ID #2 совпадение 100
Найдено ID #7 совпадение 100
Найдено ID #2 совпадение 59
Найдено ID #2 совпадение 74
Найдено ID #2 совпадение 54
Найдено ID #2 совпадение 65
Найдено ID #2 совпадение 100
```

Autoprocurement Show time markers NL (New line) 9600 baud Clear output

Figure 7 – Fingerprint recognition

system for rapid recognition of fingerprints and the subsequent search. SURF/SIFT algorithms have better classification abilities when solving domestic search problems on textured images. Both algorithms require more hardware and are better suited to other computer vision tasks, and both algorithms are patented and prohibited for commercial use, without the consent of the copyright holder. For fingerprint identification tasks, they are "overpowered". ORB algorithm has higher speed compared with the above algorithms SIFT / SURF, and more suitable for the task of biometric identification by fingerprints. The descriptors of the ORB algorithm are binary descriptors, and the check for matching such descriptors is the sum of the Hamming distances of each byte of the descriptor. The application of this algorithm is suitable for search tasks by not a complete fingerprint. Numerical studies performed on the model problem showed the effectiveness of human recognition by fingerprints.

This study used a photographic database-Fingerprint Verification Competition 2004 (FVC2004)-obtained from a public institution. In this context, we examined the graphical display of matching key points and the number of key points matched by fingerprints. The search for key points is performed with the help of the Hesse matrix. The determinant of the Hesse matrix (Hessian) is maximal at the point where the change in luminance gradient is maximum. Fingerprints were acquired using the Crossmatch V300 optical sensor. Experiments showed that the developed software system is invariant to image rotation.

Funding. The work was carried out at the expense of the Research Institute of Mathematics and Mechanics at Al-Farabi Kazakh National University and grant funding for scientific research for 2023-2025 under the project AP19678157 "Development of a hardware and software complex for monitoring the state of the occupancy level of a reservoir".

REFERENCES

- 1 Zadorozhny V.V. (2004). Identification by fingerprints. PC Magazine. *Russian Edition*, 1, 5.
- 2 Makeev, S. C. (2000). BIOMETRY? BIOMETRY. BIOMETRY! Science-intensive technologies and intelligent systems in XXI century. *Collection of scientific works of youth scientific-technical conference*, 102-105.
- 3 Larina E. A., Glushko A. A. (2016). Scanning methods for obtaining fingerprints. *Young Scientist*, 27, 97-107.
- 4 Herschel William J. (1916). The Origin of Fingerprinting. *Oxford University Press*.
- 5 Katorin Y. F., Razumovsky A. V., Spivak A. I. (2012). Information protection by technical means. SPb: *NRU ITMO*, 416.
- 6 Shangin V. Ф. (2012). Complex protection of information in corporate systems. M.: *Forum Publishing House*, 592.
- 7 Гололобов В. Н. (2019). Arduino для любознательных. СПб.: *Наука и техника*, 240.
- 8 X. Tan and B. Bhanu. (2002). Robust fingerprint identification. *Proceedings of the 2002 International Conference on Image Processing, Rochester. NY, USA, 1*, 1-277. <https://dblp.org/db/conf/icip/index:14.03.2023>
- 9 Rosten, Edward, Tom Drummond. (2006). Machine learning for high-speed corner detection, 9th European Conference on Computer Vision (ECCV), 430 – 443.
- 10 Michael Calonder, Vincent Lepetit, Christoph Strecha, Pascal Fua. (2010). “BRIEF: Binary Robust Independent Elementary Features”, 11th European Conference on Computer Vision (ECCV), 778–792.
- 11 Biometric Systems Lab. (2004). Pattern Recognition and Image Processing Lab. Biometric Test Center [Online]. Available: <http://bias.csr.unibo.it/fvc2004/>.
- 12 Zitova B., Flusser J. (2013). Image registration methods: a survey // *Image and Vision Computing*, 21, 977–1000.
- 13 Larina E. A., Glushko A. A. (2016). Scanning methods for obtaining fingerprints. *Young Scientist*, 27, 97-107.
- 14 Petin V. A. (2016). Projects using Arduino controller. SPb: *BHV-Peterburg*, 464.
- 15 Boxell, J. (2017). Learning Arduino. 65 projects with your own hands. SPb: *Peter*, 400.
- 16 Belov A. B. (2018). Arduino. From the basics of programming to creating practical devices. SPb: *NIT*, 480.
- 17 Lowe D. G. (2009). Object recognition from local scale-invariant features // *Proc. Intl. Conference on Computer Vision*, 1150–1157.
- 18 Mazakov T.O., Jomartova Sh. A., Shormanov T. S., Ziyatbekova G. Z., Amirkhanov B. S., Kisala P. (2020). The image processing algorithms for biometric identification by fingerprints. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. *Series of Geology and Technical Sciences*, 1(439), 14-22.
- 19 Aliaskar, T. Mazakov, A. Mazakova, S. Jomartova and T. Shormanov. (2022). Human voice identification based on detection of fundamental overtones. *IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON)*, 1-4. doi: 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830471.
- 20 Soweon Yoon and Anil K. Jain. (2015). «A longitudinal study of fingerprint identification» *PNAS*, 8555-8560.

**Т. С. ШОРМАНОВ¹, Т. Ж. МАЗАКОВ^{1,2}, Ш. А. ДЖОМАРТОВА¹,
М. С. ӘЛИАСҚАР¹, Ә. Т. МАЗАҚОВА¹, А. Т. ЖАҚСЫМБЕТ¹**

¹әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан;

²әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Математика және механика ғылыми-зерттеу институты, Алматы, Қазақстан

САУСАҚ ІЗІ БОЙЫНША СӘЙКЕСТЕНДІРУГЕ АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-АППАРАТТЫҚ КЕШЕН ҚҰРУ

Мақала саусақ іздері арқылы адамның биометриялық сәйкестендіруін зерттеуге арналған. Эксперименттік зерттеулердің әдістемесі қарастырылып, сәйкестендіру нәтижелерін өңдеу үдерісі сипатталған. Бұл жұмыста саусақ іздері арқылы адамды тану жүйесі жасалған. Тану жүйесі деректерді сақтауға, оны әрі қарай өңдеуге, саусақ іздерінің суреттерін анықтауға және көрсетуге арналған. Адамды саусақ ізімен биометриялық анықтау үшін FPM10A сканері және Arduino микроконтроллері қолданылады. Жұмыста саусақтардағы папиллярлық өрнектер құрылымының сәйкестендіру белгілері қарастырылған. Саусақ іздерін әр түрлі айналдыру арқылы сәйкестендіру сканер нәтижесінде пайда болады. Мақалада саусақ ізін биометриялық сәйкестендіруге арналған кескінді өңдеу алгоритмдері қарастырылады. Әр түрлі қысым, жылдамдық, бағыт, қоршаған орта температурасы және ылғалдылық деңгейі алуан түрлі кескіндерге әкелетінін ескере отырып, саусақтардағы папиллярлық үлгілердің құрылымының сәйкестендіру белгілері зерттелді. Кескінді сандық өңдеу мен талдаудың әртүрлі алгоритмдерінің арқасында, мысалы: SIFT тұтқасы (дескрипторы), сондай-ақ ең жақын бәсекелес SURF тұтқасы, әр кескіннің бірегей сипаттамаларын жылдам алу мүмкіндігі пайда болды.

Бұл зерттеуде ашық көздерден алынған фотосуреттер базасы қолданылды – *Fingerprint Verification Competition 2004 (FVC2004)*. Жұмыс нәтижесінде сәйкес келетін негізгі нүктелердің графикалық бейнесі, сондай-ақ саусақ іздері бойынша сәйкес келетін негізгі нүктелердің саны зерттелді. Негізгі нүктелерді іздеу Гессе матрицасы арқылы жүзеге асырылады. Гессе матрицасының детерминанты жарық градиентінің максималды өзгеру нүктелерінде экстремумға жетеді. Саусақ іздері "Cross Match V300" оптикалық сенсорының көмегімен алынды. Эксперименттік зерттеу нәтижесінде әзірленген бағдарламалық жасақтама жүйесі кескінді бұруға инвариантты екендігі анықталды.

Түйін сөздер: биометрия, саусақ іздері, сәйкестендіру жүйесі, папиллярлық өрнектер, саусақ іздерін салыстыру.

**Т. С. ШОРМАНОВ¹, Т. Ж. МАЗАКОВ^{1,2}, Ш. А. ДЖОМАРТОВА¹,
М. С. ӘЛИАСҚАР¹, Ә. Т. МАЗАҚОВА¹, А. Т. ЖАҚСЫМБЕТ¹**

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

²Научно-исследовательский институт математики и механики Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПО ОТПЕЧАТКАМ ПАЛЬЦЕВ

Статья посвящена исследованию биометрической идентификации человека по отпечаткам пальцев. Рассмотрена методика экспериментальных исследований, описан процесс обработки ре-

зультатов идентификации. В данной работе разработана система распознавания человека по отпечаткам пальцев. Система распознавания предназначена для хранения данных, дальнейшей её обработки, идентификации и отображении снимков отпечатков пальцев. Для биометрической идентификации человека по отпечаткам пальцев использован сканер FPM10A и микроконтроллер Arduino. Рассмотрены идентификационные признаки строения папиллярных узоров на пальцах. Получен результат совпадения отпечатков пальцев с различным вращением через сканер. В статье рассматриваются алгоритмы обработки изображений для биометрической идентификации личности по отпечаткам пальцев. Исследованы идентификационные признаки строения папиллярных узоров на пальцах с учетом того, что различное давление, скорость, направление, температура окружающей среды и уровень влажности приводят к разным изображениям. Благодаря различным алгоритмам цифровой обработки и анализа изображений таким как дескриптор SIFT, а также ближайший конкурент – дескриптор SURF, появилась возможность быстрого получения уникальных характеристик по каждому изображению.

В данном исследовании использовалась база данных из фотографий, полученная из открытых источников – Fingerprint Verification Competition 2004 (FVC2004). В результате работы исследованы графическое изображение совпадающих ключевых точек, а также количество совпавших ключевых точек по отпечаткам пальца. Поиск ключевых точек производится с помощью матрицы Гессе. Детерминант матрицы Гессе (гессиан) достигает экстремума в точках максимального изменения градиента яркости. Отпечатки пальцев были получены с помощью оптического датчика «Cross Match V300». Проведенное экспериментальное исследование показало, что разработанная программная система обладает инвариантностью к поворотам изображения.

Ключевые слова: биометрия, отпечатки пальцев, система идентификации, папиллярные узоры, сравнение отпечатков пальцев.

UDC 511.11

<https://doi.org/10.47533/2024.1606-146X.16>

ZHARBOLOV ALIKHAN*

*11th grade student of the Republican Physics and Mathematics School,
Almaty, Kazakhstan
E-mail: zharbolov@gmail.com*

ALONG THE PATH OF THE GREAT KAPREKAR: A-FUNCTION, REPUNITS AND THEIR PROPERTIES

Following the famous Indian mathematician D. Kaprekar, in the paper[5], the author presented a new method for obtaining integers $A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n))$ where $S(n)$ - is the sum of digits of the number n in decimal notation. This A-function turned out to be related to a remarkable class of numbers - the class of integers R_n , repunit. In the paper, new properties are found R_n . The properties A-function. It is proved that the set of a-self numbers is infinite and each a-self number has exactly 10 generators. The hypothesis about the distribution of a-self numbers is justified and formulated. The hypothesis about the distribution of the number of chains of «neighboring» a-self numbers is justified and formulated and the complete consistency of the two hypotheses is proved. Formulas for the chains of «neighboring» a-self numbers are found. The multiple relations between the Kaprekar function $K(n)$ and the function introduced by us $A(n)$. We studied and found all solutions of the functional equation $A(qn) = qA(n)$.

Key words: D.R. Kaprekar, self numbers, repunits, A-function.

1. Introduction. Indian mathematician D.R.Kaprekar discovered several remarkable classes of natural numbers such as Kaprekar's Constant[1], Kaprekar numbers[2], Harshad numbers, Demlo numbers[3].

Another outstanding discovery of D. Kaprekar is the class of self-generated numbers. It is described by the famous popularizer of science Martin Gardner in his book "Time Travel"[4]. Let's choose any natural number n and add to it the sum of its digits $S(n)$. The resulting number $K(n) = n + S(n)$ is called the generated number, and the original number is called its generator. Following D. Kaprekar, the author in the paper[5] introduced a new way of obtaining integers. The difference of a number and the sum of its numbers $n - S(n)$ is always divisible by 9. Therefore, let us define the new function for obtaining integers as follows: $A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n))$. Similarly to Kaprekar, for the case of the function $A(n)$ the

* E-mail корреспондирующего автора: zharbolov@gmail.com

classes of a-generated and a-self numbers are defined. The values $A(n)$ are directly related to the class of numbers R_n - repunit. Properties of the class of natural numbers R_n - repunit are well studied[6], [7], [8], [9]. In this paper, 2 more new properties are proved R_n (Theorems 3-1 and 3-2), and these new properties R_n will be necessary for further investigation of the properties of the function $A(n)$ and classes of numbers: a-generated and a-self numbers.

During the work, 4 hypotheses are formulated.

2. Notations. Let $N = \{1, 2, 3, \dots\}$ - is the set of natural numbers. Let us denote by $N_0 = N \cup \{0\}$ - the set of non-negative integers. Throughout this paper the number system is decimal. Let $n \in N$ and

$$n = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot 10 + \dots + \alpha_k \cdot 10^k = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot 10^i, \text{ where } \alpha_k \neq 0.$$

Further, the number $d(n) = k + 1$ let us call the order of the number n . Hence, the order of a number n shows the number of digits of the number n in the decimal system. The sum of digits of a number n denote by

$$S(n) = \alpha_0 + \alpha_1 + \dots + \alpha_k = \sum_{i=0}^k \alpha_i.$$

In the work, the Greek letters $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ to denote numbers:

$$0 \leq \alpha_i \leq 9; \quad 0 \leq \beta_i \leq 9; \quad 0 \leq \gamma_i \leq 9, \text{ where } i \in N_0.$$

3. Repunits and their properties. Repunits are natural numbers, the record of which in the decimal number system consists of only one unit.

$$R_1 = 1, R_2 = 11, R_3 = 111 \text{ and e.t.c.}:$$

$$\text{General view of the repunit } R_n = \frac{10^n - 1}{9}, n = 1, 2, 3, \dots$$

Repunits are related by a recurrence relation:

$$\begin{aligned} &R_n = 10 \cdot R_{n-1} + 1, & n = 2, 3, 4 \dots \\ \text{or} &R_n - 10 \cdot R_{n-1} = 1, & n = 2, 3, 4 \dots \end{aligned} \tag{3-1}$$

Repunits are a very interesting class of numbers that have been investigated by many famous mathematicians [6], [7], [8], [9] and studied for their remarkable properties.

Consider the following numbers, which we will need in our further work.

$$\begin{aligned} B_{n,l} &= R_n - 9 \cdot \sum_{i=l}^{n-1} R_i, \\ C_{n,l} &= 8 \cdot R_n + 9 \cdot \sum_{i=l}^{n-1} R_i, \end{aligned}$$

where $n=2, 3, \dots, 1 \leq l \leq n-1$.

It's obvious that

$$B_{n,l} + C_{n,l} = 9 \cdot R_n = 9 \cdot \frac{10^n - 1}{9} = 10^n - 1. \tag{3-2}$$

Let's define some properties of these numbers.

Motion 3-1.

$$B_{n,1} = R_n - 9 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} R_i = n \text{ where } n = 2, 3, \dots \tag{3-3}$$

The **proof** is carried out by induction on n .

Using the results of Proposition (3-1) we prove the following theorem (3-1):

Theorem 3-1. $B_{n,l} = R_l + n - l$, where $n = 2, 3, \dots, 1 \leq l \leq n - 1$

Proof.

$$\begin{aligned} B_{n,l} &= R_n - 9 \cdot \sum_{i=l}^{n-1} R_i = R_n - 9 \cdot \sum_{i=1}^{n-1} R_i + 9 \cdot \sum_{i=1}^{l-1} R_i = n + 9 \cdot (R_1 + R_2 + \dots + R_{l-1}) = \\ &= n + 9 \cdot \left(\frac{10 - 1}{9} + \frac{10^2 - 1}{9} + \dots + \frac{10^{l-1} - 1}{9} \right) = \\ &= n + \left(10 + 10^2 + \dots + 10^{l-1} - (l - 1) \right) = n + \frac{10 \cdot (10^{l-1} - 1)}{9} - l + 1 = \\ &= n + 10 \cdot R_{l-1} + 1 - l = n + R_l - l = R_l + n - l. \end{aligned}$$

Theorem 3-1 is proved.

Theorem 3-2.

$$C_{n,l} = 10^n - R_l - n - 1 + l, \text{ where } n = 2, 3, \dots, 1 \leq l \leq n - 1.$$

Proof. Let's use formula (3-2) and theorem (3-1):

$$C_{n,l} = 10^n - 1 - B_{n,l} = 10^n - 1 - (R_n + n - l) = 10^n - R_l - n - 1 + l$$

Theorem 3-2 is proved.

The following follows from Theorem 3-1

Corollary 3-1. $B_{n,2} = n + 9$

Proof. $B_{n,2} = R_2 + n - 2 = 11 + n - 2 = n + 9$.

From Theorem 3-2 we easily obtain the following

Investigation 3-2. $C_{n,1} < 10^n$

Proof. $C_{n,1} = 10^n - R_1 - n - 1 + 1 = 10^n - 1 - n < 10^n$.

Proposal 3-2. For any $s, t \in \mathbb{N}$ the following identity holds:

$$R_{s+t} = 10^t \cdot R_s + R_t$$

Proof. $R_{s+t} = \underbrace{11\dots1}_{s+t} = \underbrace{11\dots1}_s \underbrace{00\dots0}_t + \underbrace{11\dots1}_t = 10^t \cdot R_s + R_t.$

Proposition 3-2 is proved. From Proposition 3-2 we obtain the following

Corollary 3-3. $R_{s+t} - 10^t \cdot R_s = R_t.$ (3-4)

4. Function A(n) and its properties. The difference of a number and the sum of its digits $n - S(n)$ is a multiple of 9. Therefore, a new function for obtaining integers is introduced in the paper[5].

$$A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n)) \text{ where } n \in N, A(n) \in N_0$$

Then

$$\begin{aligned} A(n) &= \frac{1}{9} \left(\sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i - \sum_{i=0}^k \alpha_i \right) = \\ &= \frac{1}{9} \sum_{i=1}^k \alpha_i (10^i - 1) = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \left(\frac{10^i - 1}{9} \right) = \sum_{i=1}^k \alpha_i R_i. \end{aligned}$$

Then,

$$A(n) = \alpha_1 \cdot R_1 + \alpha_2 \cdot R_2 + \dots + \alpha_k \cdot R_k = \sum_{i=1}^k \alpha_i R_i \tag{4-1}$$

From this formula we formulate a property of the function $A(n)$:

Proposition 4-1. The value $A(n)$ does not depend on α_0 units of the number n .

Let's note that.

$$A(10^i) = R_i \text{ and } A(\alpha_i 10^i) = \alpha_i R_i \quad i = 1, 2, \dots$$

Now using formula (4-1) we note one more property $A(n)$.

Proposition 4-2. The function $A(n)$ is additive on the digits of the number $n \in N_0$:

$$\begin{aligned} &A(\alpha_k \cdot 10^k + \dots + \alpha_1 \cdot 10 + \alpha_0) = \alpha_k R_k + \dots + \alpha_1 R_1 = \\ &= A(\alpha_k \cdot 10^k) + \dots + A(\alpha_1 \cdot 10) + A(\alpha_0), \text{ where } A(\alpha_0) = \frac{1}{9}(\alpha_0 - \alpha_0) = 0. \end{aligned}$$

Theorem 4-1. Let $d(n) = k + 1$. Then $R_k \leq A(n) \leq R_{k+1} - k - 1$.

Proof. By formula (4-1)

$$A(n) = \sum_{i=1}^k \alpha_i R_i. \text{ Therefore}$$

1) $R_k \leq A(n)$

$$\begin{aligned}
 2) \quad A(n) &\leq 9 \cdot \sum_{i=1}^k R_i = 9 \cdot \sum_{i=1}^k \frac{10^i - 1}{9} = \sum_{i=1}^k (10^i - 1) = \\
 &= \sum_{i=1}^k 10^i - k = \frac{10 \cdot (10^k - 1)}{10 - 1} - k = \frac{10^{k+1} - 1 - 9}{9} - k = \\
 &= \left(\frac{10^{k+1} - 1}{9} \right) - 1 - k = R_{k+1} - k - 1.
 \end{aligned}$$

Theorem 4-1 is proved.

Proposition 4-3. Let $n = \alpha_s \cdot 10^s$, $m = \beta_s \cdot 10^s$. Then

- 1) if $\alpha_s + \beta_s \leq 9$, then $A(n + m) = A(n) + A(m)$.
- 2) if $10 \leq \alpha_s + \beta_s \leq 18$, then $A(n + m) = A(n) + A(m) + 1$.

Proof.

- 1) Let $\alpha_s + \beta_s \leq 9$. Then

$$\begin{aligned}
 A(n + m) &= A(\alpha_s \cdot 10^s + \beta_s \cdot 10^s) = A((\alpha_s + \beta_s) \cdot 10^s) = \\
 &= (\alpha_s + \beta_s) \cdot R_s = \alpha_s \cdot R_s + \beta_s \cdot R_s = \\
 &= A(\alpha_s \cdot 10^s) + A(\beta_s \cdot 10^s) = A(n) + A(m).
 \end{aligned}$$

- 2) Let $10 \leq \alpha_s + \beta_s \leq 18$. Then

$$\begin{aligned}
 A(n + m) &= A((\alpha_s + \beta_s) \cdot 10^s) = A(10 \cdot 10^s + (\alpha_s + \beta_s - 10) \cdot 10^s) = \\
 &= A(10^{s+1} + (\alpha_s + \beta_s - 10) \cdot 10^s) = R_{s+1} + (\alpha_s + \beta_s - 10) \cdot R_s \\
 &= (10R_s + 1) + \alpha_s \cdot R_s + \beta_s \cdot R_s - 10 \cdot R_s = \\
 &= A(n) + A(m) + 1.
 \end{aligned}$$

Proposition 4-4 is proved.

Theorem 4-2. For any $n, m \in N$

$$A(n + m) \geq A(n) + A(m).$$

Proof. Let

$$d(n) = k + 1, \quad m < n.$$

Then

$$n = \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i, \quad \text{where } \alpha_k \neq 0,$$

$$\begin{aligned}
 m &= \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot 10^j. \text{ Then,} \\
 A(n + m) &= A\left(\sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i + \sum_{j=1}^k \beta_j \cdot 10^j\right) = \\
 &= A\left(\sum_{i=0}^k (\alpha_i + \beta_i) \cdot 10^i\right).
 \end{aligned}$$

Let's study the sums of digits at corresponding digits (powers of 10) of numbers n and m :

$$\alpha_0 + \beta_0; \quad \alpha_1 + \beta_1; \quad \dots; \alpha_k + \beta_k.$$

If all sums are less than or equal to 9, then according to proposition (4-5)-(1)

$$A(n + m) = A(n) + A(m).$$

If at least one sum is greater than or equal to 10, then according to proposition (4-5)-(2)

$$A(n + m) > A(n) + A(m).$$

Theorem 4-2 is proved.

Proposal 4-4. For any $n_1, n_2, n_3 \in N$ the inequality holds:

$$A(n_1 + n_2 + n_3) \geq A(n_1) + A(n_2) + A(n_3)$$

Proof. Let us use Theorem (4-2) twice:

$$A(n_1 + n_2 + n_3) = A(n_1 + (n_2 + n_3)) \geq A(n_1) + A(n_2 + n_3) \geq A(n_1) + A(n_2) + A(n_3).$$

Proposition (4-4) is proved.

Similarly to Proposition (4-4) the following is proved

Theorem 4-3. Let $n_1, n_2, \dots, n_s \in N$. Then the inequality holds:

$$A(n_1 + n_2 + \dots + n_s) \geq A(n_1) + A(n_2) + \dots + A(n_s)$$

5. A – generated and a – self-generated numbers. Let $A(n) = m$, where $m, n \in N_0$. A number m is called a - generated number, and the number n is called its a-generator. An a-generated number can have more than one generator. If a number p has no a - generators, it is called a-self number. Examples of a-self numbers are: 10, 20, 32, 109, 110, 1108, 1109, 1110 and others. It follows from formula (4-1) that any a – generated number m can be represented in the form:

$$m = \sum_{i=1}^k \alpha_i R_i$$

Theorem 5-1. The set of a-self numbers is infinite.

Proof. Let us show that all numbers of the form

$$p = \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - 1 \quad \text{are a - self numbers}$$

Let's prove the opposite. Let a number m is a generator of a number p . According to Proposition (4-1), we can assume that $\beta_0 = 0$. Then

$$m = \sum_{j=1}^k \beta_j 10^j$$

Then,
$$A(m) = p = \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - 1 < \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i = A(n), \tag{5-1}$$

Where
$$n = \sum_{i=2}^k \alpha_i 10^i, \quad \alpha_0 = \alpha_1 = 0$$

From the paper[5] and inequality (5-1) it follows that $m < n$.

Given that $\alpha_0 = \alpha_1 = 0$, we obtain.

$$l(n, m) = l \geq 2$$

It follows from the paper[5] that

$$A(n) - A(m) \geq l \geq 2 \tag{5-2}$$

So,
$$p = A(m) \quad \text{and} \quad p - A(m) = 0.$$

Then.

$$\left(\sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - 1 \right) - A(m) = 0, \quad \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - A(m) = 1, \tag{5-3}$$

$$A(n) - A(m) = 1.$$

The obtained equality (5-3) contradicts the inequality (5-2). This contradiction proves theorem (5-1).

Theorem 5-2. Every a-generated number m has exactly 10 a-generators,

Proof. Let

$$m = \sum_{i=1}^k \alpha_i R_i -$$

- is an a-self number. Let the numbers n_1 and $n_2, n_1 < n_2$ be a-generators of a number m :

$$m = A(n_1) = A(n_2).$$

Then $A(n_2) - A(n_1) = 0$. It follows from Theorem (5 – 1) that $d(n_2 - n_1) = 0$. This means that the numbers n_1 and n_2 in the decimal notation differ from each other only by digits in the unit digits.

Thus, the following 10 numbers are a - number generators m :

$$n_s = \sum_{i=1}^k \alpha_i 10^i + s, \text{ where } 0 \leq s \leq 9$$

Theorem 5-3. Let $\omega_k = 9 \cdot 10^k + 9$, where $k = 1, 2, \dots$

Then $A(\omega_k) = 10^k - 1$ and $A(\omega_k + 1) = 10^k$.

Proof. Let's use formula (4-1):

$$1. A(\omega_k) = A(9 \cdot 10^k + 9) = 9 \cdot R_k + 9 \cdot R_0 = 9 \cdot R_k = 10^k - 1.$$

$$2. A(\omega_k + 1) = A(9 \cdot 10^k + 1 \cdot 10) = 9 \cdot R_k + 1 \cdot R_1 = 10^k - 1 + 1 = 10^k.$$

Theorem (5-3) is proved.

From Theorem (5-3) and the paper[5] the following follows

Proposition 5-1. Let a number n such that

$$d(A(n)) = p, \text{ where } p = 2, 3, \dots$$

Then

$$\min\{n\} = \omega_{p-1} + 1, \quad \{n\} = \omega_p$$

Therefore

$$9 \cdot 10^{p-1} + 10 \leq n \leq 9 \cdot 10^p + 9.$$

6. Distribution of a-self numbers. The number of digits in the decimal notation of a number n let us call the order of the number n and denote by $d(n)$.

$$10^{d(n)-1} \leq n \leq 10^{d(n)}$$

With the help of a program in Java and Python language, having investigated all numbers up to 10^8 made the following table of distribution of a-self numbers.

Table 1.

$d(n)$	Number of all numbers of order $d(n)$	The number of a-self numbers of order $d(n)$	% a-self numbers
1	2	3	4
1	9	0	0
2	9·10	9	10

1	2	3	4
3	$9 \cdot 10^2$	$9 \cdot 10$	10
4	$9 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^2$	10
5	$9 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^3$	10
6	$9 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^4$	10
7	$9 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^5$	10
8	$9 \cdot 10^7$	$9 \cdot 10^6$	10

Based on the results of the table we can formulate the following hypothesis.

Hypothesis 1. Among all numbers of a given order. $d(n) = t, t \geq 2$, there are $9 \cdot 10^{t-1}$, the number of a-self numbers is equal to $9 \cdot 10^{t-2}$. Thus, the number of a-self numbers of the order t is exactly 10% of the number of all numbers of order t .

7. Distribution of the number of chains of “neighboring” a-self numbers.

Definition. A-self number p_1 is called a unary a-self if the numbers $p_1 - 1$ and $p_1 + 1$ are a-self numbers.

Definition. If all numbers of the set

$$P_s = \{p_{s,1}, p_{s,1} + 1, \dots, p_{s,1} + s - 1\}, \quad s = 2, 3, \dots$$

are a-self numbers, and the numbers $p_{s,1} - 1$ and $p_{s,1} + s$ are a-self numbers, then all numbers of the set P_s are called a chain of a-self «neighboring» numbers of length s .

Consider $N_t = \{n \in N, d(n) = t\}$ - the set of all numbers of order t . Obviously, the number of numbers of the set N_t is equal to $9 \cdot 10^{t-1}$. According to hypothesis 1, the number of all a-self numbers of the set N_t equals $9 \cdot 10^{t-2}$.

With the help of a program in Java language having studied all numbers up to 10^8 made table 2 of the distribution of the number of chains of «neighboring» a-self numbers N_t where $1 \leq t \leq 8$.

Table 2.

$d(n)$	The number of all a-self numbers.	$s = 1$	$s = 2$	$s = 3$	$s = 4$	$s = 5$	$s = 6$	$s = 7$
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	9	9	0	0	0	0	0	0
3	$9 \cdot 10$	72	9	0	0	0	0	0
4	$9 \cdot 10^2$	729	72	9	0	0	0	0
5	$9 \cdot 10^3$	$729 \cdot 10$	729	72	9	0	0	0
6	$9 \cdot 10^4$	$729 \cdot 10^2$	$729 \cdot 10$	729	72	9	0	0
7	$9 \cdot 10^5$	$729 \cdot 10^3$	$729 \cdot 10^2$	$729 \cdot 10$	729	72	9	0
8	$9 \cdot 10^6$	$729 \cdot 10^4$	$729 \cdot 10^3$	$729 \cdot 10^2$	$729 \cdot 10$	729	72	9

Having summarized the pattern of Table 2, we can formulate

Hypothesis 2. In the set N_t , where $t \geq 5$, is the number of «neighboring» chains a-self numbers of length s are as follows:

Chain lengths s	Number of circuits lengths s «neighboring» a-self numbers	Numbers of all a-self numbers, chain lengths s
1	$9^3 \cdot 10^{t-4}$	$1 \cdot 9^3 \cdot 10^{t-4}$
2	$9^3 \cdot 10^{t-5}$	$2 \cdot 9^3 \cdot 10^{t-5}$
...
$t - 4$	$9^3 \cdot 10$	$(t - 4) \cdot 9^3 \cdot 10$
$t - 3$	9^3	$(t - 3) \cdot 9^3$
$t - 2$	72	$(t - 2) \cdot 72$
$t - 1$	9	$(t - 1) \cdot 9$

And the total number of a-self numbers in the set N_t is equal to:

$$P(t) = (t - 1) \cdot 9 + (t - 2) \cdot 72 + (t - 3) \cdot 9^3 + (t - 4) \cdot 9^3 \cdot 10 + \dots + 2 \cdot 9^3 \cdot 10^{t-5} + 1 \cdot 9^3 \cdot 10^{t-4}.$$

Theorem 7-1. The following equality is true

$$P(t) = 9 \cdot 10^{t-2}, \quad t \geq 4$$

The proof is carried out by induction on t .

Theorem 7-1 shows that Hypothesis 1 is in complete agreement with Hypothesis 2.

8. Formulas for chains of “neighboring” a-self numbers.

Theorem 8–1. All numbers of the form $p_1 = \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - 1$, where $\alpha_2 \neq 0$ (8–1) are single a-self numbers.

Proof.

1) It follows from Theorem (5-1) that all numbers of the form (8-1) are a-self numbers.

2-a) Let us show that all numbers of the form

$$p_1 - 1 = \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - 2, \text{ where } \alpha_2 \geq 1,$$

are a-generated numbers.

Indeed,

$$\begin{aligned} p_1 - 1 &= \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - 2 = \sum_{i=3}^k \alpha_i R_i + (\alpha_2 - 1)R_2 + R_2 - 2 = \\ &= \sum_{i=3}^k \alpha_i R_i + (\alpha_2 - 1) \cdot R_2 + 1 \cdot 9 = A(n_1), \end{aligned}$$

where
$$n_1 = \sum_{i=3}^k \alpha_i \cdot 10^i + (\alpha_2 - 1) \cdot 10^2 + 1 \cdot 10.$$

So, the numbers p_1 are a-generated numbers.

2-b) Now we show that all numbers of the form $p_1 + 1$ are a-generated numbers.

Indeed,

$$p_1 + 1 = \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i = A(n_2), \text{ where } n_2 = \sum_{i=2}^k \alpha_i \cdot 10^i,$$

n_2 are a-number generator $p_1 + 1$, so numbers of the form $p_1 + 1$ are a-generated.

The theorem is proved.

Theorem 8-2. All numbers of the set

$$P_2 = \{p_{2,1} ; p_{2,1} + 1\}, \text{ where } p_{2,1} = \sum_{i=3}^R \alpha_i R_i - 2, \quad \alpha_3 \neq 0$$

They are a chain of “neighboring” a-self numbers of length 2.

Proof.

1-a) Let us show that the number $p_{2,1}$ is an a-self number. Let’s prove the opposite.

Let $p_{2,1}$ be an a-generated number and the number m_1 – be its a-generator. Then

$$A(m_1) = p_{2,1} = \sum_{i=3}^k \alpha_i R_i - 2 = A(n) - 2, \text{ where } n = \sum_{i=3}^k \alpha_i \cdot 10^i, \quad \alpha_3 \neq 0$$

Hence, we obtain that

$$A(n) - A(m_1) = 2 \tag{8-2}$$

From $A(n) > A(m_1)$ and paper[5] it follows that $n > m_1$. Since $\alpha_0 = \alpha_1 = \alpha_2 = 0$, to «difference» of powers of numbers n and m_1

$$l(n; m_1) \geq 3$$

Now from Theorem (4-1) it follows that

$$A(n) - A(m_1) \geq l(n; m_1) \geq 3 \tag{8-3}$$

Equality (8-2) contradicts inequality (8-3). The contradiction proves that numbers of the form $p_{2,1}$ are a-self numbers.

1-b) It is similarly proved that the numbers of the form $p_{2,1} + 1$ are a-self numbers.

2-a) Let us show that the numbers $p_{2,1} - 1$ are a-generated.

Indeed,

$$p_{2,1} - 1 = \sum_{i=3}^k \alpha_i R_i - 3 = \sum_{i=4}^k \alpha_i R_i + (\alpha_3 - 1) \cdot R_3 + R_3 - 3 =$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=4}^k \alpha_i R_i + (\alpha_3 - 1)R_3 + 111 - 3 = \\
 &= \sum_{i=4}^k \alpha_i R_i + (\alpha_3 - 1)R_3 + 9 \cdot 11 + 9 \cdot 1 = A(n_1),
 \end{aligned}$$

where
$$n_1 = \sum_{i=4}^k \alpha_i \cdot 10^i + (\alpha_3 - 1) \cdot 10^3 + 9 \cdot 10^2 + 9 \cdot 10.$$

So, the numbers $p_{2,1} - 1$ are a-generated numbers.

2-b) Now we show that the numbers of the form $p_{2,1} + 2$ are a-generated numbers.

Indeed,

$$p_{2,1} + 2 = \sum_{i=3}^k \alpha_i R_i = A(n_2), \text{ where } n_2 = \sum_{i=3}^k \alpha_i \cdot 10^i$$

So, numbers of the form $p_{2,1} + 2$ are a-generated numbers.

Theorem 8-2 is proved.

By examining all single a-self numbers up to 10^5 with the help of a program in Java language we can formulate the following

Hypothesis 3. There are no single a-self numbers, except for the numbers (8-1)

$$p_1 = \sum_{i=2}^k \alpha_i R_i - 1, \text{ where } \alpha_2 \neq 0$$

By analogy of theorem (8-2) we can formulate the following one

Hypothesis 4. All chains a-self “neighboring” numbers of length s are completely described by the multiplicities (7-1)

$$P_s = \{p_{s,1}; p_{s,1} + 1; \dots; p_{s,1} + s - 1\}, \quad s = 2, 3, \dots$$

where
$$p_{s,1} = \sum_{i=s+1}^k \alpha_i R_i - s, \quad \alpha_{s+1} \neq 0$$

The truth of these hypotheses 3, 4 is tested by a Java program for a-self numbers up to 10^8 where $s = 2, 3, 4, 5, 6, 7$.

9. Multiple relationship between K(n) and A(n)

In this part of the paper, we study the multiple relations between the Kaprekar function $K(n)$ and the new function introduced by us $A(n)$. Therefore, we study and solve Eq:

$$K(n) = q \cdot A(n), \text{ where } n, q \in N \tag{9-1}$$

Let’s convert this equation to its equivalent equation:

$$n + S(n) = q \cdot \frac{1}{9}(n - S(n)), \quad 9 \cdot n + 9 \cdot S(n) = q \cdot n - q \cdot S(n),$$

$$(q + 9) \cdot S(n) = (q - 9) \cdot n. \tag{9-2}$$

So, equations (9-1) and (9-2) are equivalent. Therefore, to study equation (9-1), we will often study equation (9-2).

Proposition 9-1. Let $t \in \mathbb{N}$ and $t \geq 3$.

Then the inequality is true:

$$18t < 10^{t-1}.$$

The proof is easily carried out by mathematical induction by t .

It is easy to establish that the following is true

Proposition 9-2. Let $q \geq 30$. Then the following inequalities are true

$$q + 9 < 2(q - 9)$$

Theorem 9-1. When $q \leq 9$ and $q \geq 30$ equation (9-1) has no solutions.

1) Let $q \leq 9$. Then the left side of equation (9-2) is a positive number, and the right side is a non-negative number. Therefore, equation (9-2) has no solutions at $q \leq 9$.

2) Let's say $q \geq 30$:

a) $d(n) = 1$, i.e. $S(n) = n = \alpha_0 \neq 0$. Then it follows from (9-2) that

$$(9 + q) \cdot \alpha_0 = (q - 9)\alpha_0,$$

$$9 + q = q - 9$$

$$9 = -9, \text{ contradiction.}$$

In the case of $d(n) = 1$ and $q \geq 30$ equation (9-2) has no solution.

b) $d(n) = 2$, i.e. $n = \alpha_1 \cdot 10 + \alpha_0$, $\alpha_1 \neq 0$.

Then it follows from equation (9-2) that

$$(9 + q) \cdot (\alpha_1 + \alpha_0) = (q - 9)(\alpha_1 \cdot 10 + \alpha_0),$$

$$9\alpha_1 + 9\alpha_0 + q\alpha_1 + q\alpha_0 = q\alpha_1 \cdot 10 + q\alpha_0 - 90\alpha_1 - 9\alpha_0,$$

$$9\alpha_1 q - 99\alpha_1 - 18\alpha_0 = 0 \rightarrow \alpha_1 q - 11\alpha_1 - 2\alpha_0 = 0$$

$$\alpha_1(q - 11) = 2\alpha_0. \tag{9-3}$$

By convention $q \geq 30$, therefore $q - 11 \geq 19$. Thus, the left side of equation (9-3) is greater than or equal to 19 and the right side is less than 18. Hence, equation (9-3) has no solution.

c) Let $d(n) = t \geq 3$. This implies that $S(n) \leq 9 \cdot t$ and $n \geq 10^{t-1}$.

Now using theorems (9-1) and (9-2) we obtain

$$\begin{aligned} (q + 9) \cdot S(n) &\leq (q + 9) \cdot 9t = \frac{1}{2}(q + 9) \cdot 18t < \frac{1}{2}(q + 9) \cdot 10^{t-1} < \\ &< \frac{1}{2} \cdot 2(q - 9) \cdot 10^{t-1} = (q - 9) \cdot 10^{t-1} \leq (q - 9) \cdot n. \end{aligned}$$

So, we obtain the following inequality

$$(q + 9) \cdot S(n) < (q - 9) \cdot n.$$

This inequality contradicts equation (9-2). Hence, in the case of $d(n) = t \geq 3$ equation (9-2) and its equivalent equation (9-1) have no solutions.

Theorem (9-1) is proved.

Proposition 9-3. Let $t \geq 4$. Then the following inequality is true:

$$342(t + 1) < 10^t.$$

We prove the proof by induction on t .

Theorem 9-2. Let $n > 10^4$ and $10 \leq q \leq 29$. Then equation (9-1) has no solutions.

Proof. Let $n > 10^t$, where $t \geq 4$. Then $S(n) \leq 9 \cdot (t + 1)$. Then, by proposition (9-3)

$$\begin{aligned} (q + 9) \cdot S(n) &\leq (29 + 9) \cdot 9(t + 1) = \\ &= 342 \cdot (t + 1) < 10^t < n < (q - 9)n. \end{aligned}$$

So, we get the following inequality:

$$(q + 9) \cdot S(n) < (q - 9) \cdot n \tag{9-4}$$

The obtained inequality (9-4) contradicts equation (9-2). Therefore, equation (9-2) has no solutions at $n > 10^4$. Consequently, the equivalent equation (9-1) also has no solutions at $n > 10^4$

Theorem (9-2) is proved.

It follows from Theorem (9-1) and (9-2) that the following is true

Theorem 9-3. Equation (9-1) can have solutions only under the conditions when $n \leq 10^4$ and $10 \leq q \leq 29$.

Using a Java program, I found all the solutions to equation (9-1):

q	n
10	114, 133, 152, 171, 190, 209, 228, 247, 266, 285, 399
11	10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90
12	21, 42, 63, 84
13	11, 22,, 33, 44, 55, 66, 77, 88, 99
14	23, 46, 69
15	12, 24, 36, 48
16	25
17	13, 26, 39
18	27
19	14, 28
20	29

21	15
23	16
25	17
27	18
29	19

So, theorems (9-1), (9-2) and (9-3) give the complete solution of the multiple relation between $K(n)$ and $A(n)$:

$$K(n) = qA(n) \tag{9-1}$$

10. Investigation and solution of the functional equation $A(qn) = qA(n)$

In this part of the paper we study and solve the functional equation

$$A(qn) = qA(n), \text{ where } n, q \in N, \quad q \geq 2 \tag{10-1}$$

According to paper[5] the function $A(n)$ is additive over the digits of the number n :

$$\begin{aligned} &A(\alpha_k \cdot 10^k + \dots + \alpha_1 \cdot 10 + \alpha_0) = \\ &= A(\alpha_k \cdot 10^k) + \dots + A(\alpha_i \cdot 10) + A(\alpha_0), \text{ where } A(\alpha_0) = 0. \end{aligned} \tag{10-2}$$

Similarly to formula (10-2), the following is evident

Proposition 10-1. Let $n = \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i$, где $0 \leq \alpha_i \leq 9, \quad i = \overline{1, k}$. Let $\alpha_i = \beta_i + \gamma_i$, where $\beta_i \geq 0, \quad \gamma_i \geq 0, \quad i = \underline{1, k}$. Then.

$$A(n) = A\left(\sum_{i=0}^k \beta_i \cdot 10^i\right) + A\left(\sum_i^k \gamma_i \cdot 10^i\right). \tag{10-3}$$

Formulas (10-2) and (10-3) will be very useful in investigating and solving the functional equation (10-1).

Definition. Let

$$d(n) = k + 1, \quad \text{i. e. } n = \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i, \text{ where } \alpha_i - \text{digits of the number } n, \quad i = \overline{0, k}.$$

Let l be the number of digits of the number n , which are greater than or equal to $t, \quad 1 \leq t \leq 9$. Then the number l let us call a vertex of order t number n and denote

$$v_t(n) = l.$$

For example, if $v_5(n) = 0$, then it means that all cirphs of the number n are less than or equal to 4:

$$0 \leq \alpha_i \leq 4 \quad i = \underline{0, k}.$$

We first study the functional equation (10-1) in the case when $q = 2$:

$$A(2n) = 2A(n), \quad n \in N. \tag{10-4}$$

Proposition 10-2. Let $d(n) = k + 1$. Let $v_5(n) = 0$. Then the number n is a solution of the functional equation (10-4).

Proof. As it was shown above, if $v_5(n) = 0$, then

$$0 \leq \alpha_i \leq 4, \quad i = \underline{0, k}.$$

Then.
$$0 \leq 2\alpha_i \leq 8, \quad i = \underline{0, k}.$$

Considering (10-5) we obtain

$$\begin{aligned} A(2n) &= A\left(2 \cdot \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i\right) = A\left(\sum_{l=0}^k (2\alpha_l) \cdot 10^l\right) = \\ &= \sum_{i=1}^k (2\alpha_i) \cdot R_i = 2 \cdot \sum_{i=1}^k \alpha_i R_i = 2 \cdot A(n). \end{aligned}$$

Proposition 10-2 is proved.

Proposition 10-3. Let $n = \alpha_k \cdot 10^k$, where $5 \leq \alpha_k \leq 9$. Ie. $v_5(n) = 1$. Then

$$A(2n) = 2 \cdot A(n) + 1. \tag{10-5}$$

Proof. Let us note that $10 \leq 2\alpha_k \leq 18$, and $0 \leq 2\alpha_k - 10 \leq 8$. Further,

$$\begin{aligned} A(2n) &= A(2\alpha_k \cdot 10^k) = A\left((10 + 2\alpha_k - 10) \cdot 10^k\right) = \\ &= A(10^{k+1} + (2\alpha_k - 10) \cdot 10^k). \end{aligned}$$

By virtue of property (10-2)

$$\begin{aligned} A(2n) &= A(10^{k+1}) + A\left((2\alpha_k - 10) \cdot 10^k\right) = \\ &= R_{k+1} + (2\alpha_k - 10) \cdot R_k = (10 + 1) + 2\alpha_k \cdot R_k - 10 \cdot R_k = \\ &= 2(\alpha_k \cdot R_k) + 1 = 2 \cdot A(n) + 1. \end{aligned}$$

Proposition 10-3 is proved.

Proposition 10-4. Let $n \in N$ such that $v_5(n) = l \geq 1$. Then

$$A(2n) = 2 \cdot A(n) + l, \tag{10-6}$$

And in this case, the number n cannot be a solution of the functional equation (10-4).

Proof. It is obvious that from formula (10-5) and from property (10-2) of additivity of the function $A(n)$ on the digits of the number n formula (10-6) follows.

Proposition 10-4 is proved.

Let us combine the results of propositions (10-2) and (10-4) into a theorem.

Theorem 10-1. A number $n \in N$ is a solution of the functional equation (10-3) if and only if

$$v_5(n) = 0.$$

Thus, Theorem (10-1) completely describes all solutions of the functional equation (10-1) in the case $q=2$.

Similarly to the proof of theorem (10-1) the following theorem is proved

Theorem 10-2. A number $n \in N$ is a solution of the functional equation (10-1), where $q \in \{3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$, if and only if the vertex of the corresponding order of the number n is zero

$$v_t(n) = 0.$$

q	3	4	5	6	7	8	9
t	4	3	2	2	2	2	2

Thus, theorems (10-1) and (10-2) completely describe all solutions of the functional equation (10-1) in the cases where $2 \leq q \leq 9$.

We now turn to the study of equation (10-1) in the cases when $q \geq 10$.

Proposition 10-5. Let

$$d(n) = k + 1, \quad n = \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i \text{ и } q = 10.$$

Then the equation

$$A(10 \cdot n) = 10 \cdot A(n) \tag{10-7}$$

has no solutions.

Proof.

$$\begin{aligned} A(10 \cdot n) &= A\left(10 \cdot \sum_{L=0}^k \alpha_L \cdot 10^L\right) = A\left(\sum_{L=0}^k \alpha_L \cdot 10^{L+1}\right) = \\ &= A(\alpha_0 \cdot 10 + \alpha_1 \cdot 10^2 + \dots + \alpha_k \cdot 10^{k+1}) = \alpha_0 \cdot R_1 + \alpha_1 \cdot R_2 + \dots + \alpha_k \cdot R_{k+1}. \\ 10 \cdot A(n) &= 10 \cdot A\left(\sum_{L=0}^k \alpha_L \cdot 10^L\right) = 10 \cdot (\alpha_1 \cdot R_1 + \alpha_2 \cdot R_2 + \dots + \alpha_k \cdot R_k). \end{aligned}$$

Consider the difference

$$A(10 \cdot n) - 10 \cdot A(n) = \alpha_0 + \alpha_1(R_2 - 10R_1) + \dots + \alpha_k(R_{k+1} - 10R_k).$$

It follows from the recurrence relation repunit (3-1) that

$$R_n - 10R_{n-1} = 1, \quad n = 2, 3, \dots$$

Therefore.

$$A(10 \cdot n) - 10 \cdot A(n) = \alpha_0 + \alpha_1 + \dots + \alpha_k = \sum_{i=0}^k \alpha_i > 0 \tag{10-9}$$

So, at $q = 10$ and for arbitrary $n \in N$ we obtain the inequality:

$$A(10n) > 10 \cdot A(n).$$

This inequality shows that equation (10-7) has no solutions.

Proposition 10-5 is proved. Similarly Proposition 10-5 is proved

Proposition 10-6. Let $n = \alpha_s \cdot 10^s$, $\alpha_s \neq 0$, $q \geq 10$. Then

$$A(qn) > q \cdot A(n) \tag{10-10}$$

For further investigation it is necessary to remember the property of the function $A(n)$ B (4-3):

$$A(n_1 + n_2 + \dots + n_s) \geq A(n_1) + A(n_2) + \dots + A(n_s).$$

Now using this property of the function and the proposition (10-6) we prove the following theorem.

Theorem 10-3. Let $n \in N$ and $q \geq 10$. Then the equation

$$A(qn) = q \cdot A(n)$$

has no solutions.

Proof. It is enough to show that the inequality

$$A(qn) > q \cdot A(n).$$

Let's

$$n = \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i, \quad \alpha_k \neq 0.$$

Next,

$$\begin{aligned} A(qn) &= A\left(q \cdot \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i\right) = A\left(\sum_{i=0}^k (q\alpha_i) \cdot 10^i\right) \geq \\ &\geq \sum_{i=0}^k A(q\alpha_i \cdot 10^i) > \sum_{i=0}^k q \cdot A(\alpha_i \cdot 10^i) = q \cdot \sum_{i=0}^k A(\alpha_i \cdot 10^i) = q \cdot A\left(\sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i\right). \end{aligned}$$

Thus, for arbitrary $n \in N$ and $q \geq 10$. inequality is proved

$$A(qn) = q \cdot A(n)$$

This inequality proves the statement of Theorem (10-3).

So, theorems (10-1), (10-2) and (10-3) give the complete solution to the functional equation $A(qn) = qA(n)$ (10-1).

In conclusion, I would like to express my gratitude to my supervisor Vice-President of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan under the President of the Republic of Kazakhstan, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Dzhumadildayev A.S. for setting the task and for support in writing this work.

REFERENCES

- 1 Kaprekar, D.R.(1949). “Another Solitaire Game”. Scripta Mathematica. 15: 244-245.
- 2 Weisstein, Eric W. “Kaptekar Number.” Math World.
- 3 Gunjkar, K.R; Kaprekar, D.R. (1939). “Theory of Demlo numbers”(PDF).J.Univ.Bombay. VIII(3): 3-9.
- 4 Garner, M., “Time travel and other mathematical bewilderments”, New Yrok, 1988, 115-117.
- 5 Zharbolov A., “The rank of the numbers of the A-function”, Bulletin of the National Engineering Academy of RK, N4(90), 2023, pp. 179-184.
- 6 Yates S. The mystique of repunits - Math. Mag. 1978, 51, 22-28.
- 7 Yates S. Peculiar properties of repunits, J. Recreational Math, 2 (1969) 139.
- 8 Yates, Samuel (1982), Repunits and repetrends, FL: Delray Beach, ISBN 978-0-9608652-0-8.
- 9 Belier, Albert H. (2013) [1964], Recreations in the Theory of Numbers: The Queen of Mathematics Entertains, Dover Recreational Math (2nd Revised ed.) New York: Dover Publications, ISBN 978-0-486-21096-4.

А. ЖАРБОЛОВ

Республикалық физика-математика мектебі, Алматы, Қазақстан

**ҰЛЫ КАПРЕКАР ЖОЛЫМЕН: А-ФУНКЦИЯ, РЕПЬЮНИТТЕР
ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ**

Белгілі индиялық математик Д.Капрекарға сүйене отырып бұл еңбекте бүтін сандарды алудың жаңа әдісі көрсетілген: $A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n))$ мұнда $S(n)$ – n санының ондық жүйедегі цифрларының қосындысы. А-функциясы натурал сандардың тамаша класы- R_n репьюниттер сандары жиынымен тығыз байланыста екені анықталды. Мақалада R_n -нің жаңа қасиеттері табылды. А-өзіндік туындаған сандар жиынының шексіз екендігі және әрбір а-туындаған санның дәл 10 генераторы бар екендігі дәлелденді. А-өзіндік туындаған сандардың таралуы жайындағы гипотеза негізделген және белгіленген.

«Көріші» тұрған а-өзіндік туындаған сандар тізбегінің таралуы жайындағы гипотеза негізделген және белгіленген. «Көріші» тұрған а-өзіндік туындаған сандар тізбегінің формуласы анықталған. Капрекер функциясы $K(n)$ және біз енгізген $A(n)$ функцияларының арасындағы еселік қатынастар зерттелді және толық шешілді. $A(qn) = qA(n)$ функционалдық теңдеуі зерттелді және толық шешілді.

Түйін сөздер: Д.Р.Капрекар, өзіндік туындаған сандар, репьюниттер, А -функция.

ЖАРБОЛОВ АЛИХАН

Республиканская физика-математическая школа, Алматы, Казахстан

**ПО ПУТИ ВЕЛИКОГО КАПРЕКАРА: А-ФУНКЦИЯ, РЕПЬЮНИТЫ
И ИХ СВОЙСТВА**

Следуя известному индийскому математику Д. Капрекару, в данной работе представлен новый способ получения целых чисел $A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n))$, где $S(n)$ – сумма цифр числа n в десятичной

записи. Данная A -функция оказалась тесно связана с замечательным классом натуральных чисел – множеством чисел R_n репьюнит. Были найдены новые свойства R_n . Изучены свойства A -функции. Доказано, что множество a -самопорожденных чисел бесконечно и каждое a -порожденное число имеет ровно 10 генераторов. Обоснована и сформулирована гипотеза о распределении a -самопорожденных чисел. Обоснована и сформулирована гипотеза о распределении количества цепей «соседних» a -самопорожденных чисел и доказана полная согласованность двух гипотез. Найдены формулы для цепей «соседних» a -самопорожденных чисел. Изучены и полностью решены кратные отношения между функцией Капрекара $K(n)$ и введенной нами функцией $A(n)$. Исследованы и найдены все решения функционального уравнения $A(qn) = qA(n)$.

Ключевые слова: Д.Р. Капрекар, самопорожденные числа, репьюниты, A -функция.

А. К. КАЙРАКБАЕВ^{1*}, Ж. С. ТУТКУШЕВА²

¹Казахско-Русский международный университет, Актобе, Казахстан;

²Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актобе, Казахстан,
kairak@mail.ru, zhailan_k@mail.ru

О СВОЙСТВАХ ОДНОЙ ВСПОМОГАТЕЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОГО ЭКСТРЕМУМА

Исследуются свойства одной вспомогательной функции (ВФ) для вычисления глобального оптимума функции многих переменных. Рассматриваемая ВФ построена путем преобразования целевой функции с помощью интеграла Лебега и является функцией одной переменной. Несмотря на то, что в предыдущих работах эта ВФ применялась для нахождения глобального минимума гладких функций на выпуклых замкнутых множествах с помощью алгоритма деления отрезка пополам, ее свойства не были изучены. Здесь эта ВФ используется для вычисления глобального экстремума непрерывных функций, заданных на ограниченных замкнутых множествах многомерного евклидова пространства. Установлены основные свойства ВФ для любой непрерывной целевой функции такие, как неотрицательность, положительная однородность, равномерная непрерывность, дифференцируемость и строгая выпуклость, более того, найдены производные до некоторого порядка. Сформулирован критерий оптимальности. Основным критерий оптимальности состоит в том, что значение свободной переменной, при котором ВФ и ее производные до некоторого порядка равны нулю, совпадает с глобальным минимумом целевой функции. Из данного критерия оптимальности следует, что для вычисления глобального минимума целевой функции достаточно найти нуль ВФ или ее какой-нибудь производной до некоторого порядка.

Ключевые слова: *вспомогательная функция, глобальный экстремум, детерминированные методы, методы оптимизации, многоэкстремальность, статические задачи, критерий оптимальности, свойства вспомогательной функции.*

Введение. Суть задачи нахождения глобального экстремума состоит в том, чтобы найти решение с минимальным (максимальным) значением целевой функции. В настоящее время о методах и проблемах глобальной оптимизации известно и написано очень много [1-5]. Тем не менее, из-за их практической важности, задачи глобальной оптимизации непрерывно возникают и исследуются во многих областях науки [6-9]. Тем самым постоянно порождается потребность в разработках новых методов и подходов их решения, поскольку универсального алгоритма их решения не существует.

На сегодняшний день все известные методы глобальной оптимизации можно разделить на две категории [1, 4, 5], детерминированные методы [1, 2] и стохастические методы [10, 11]. И также задачи оптимизации принято делить на два типа: статические и динамические. К статическому типу относят задачи, при решении которых необходимо определить значения аргументов, доставляющих целевой функции экстремальное значение. Динамическим типом считают задачи, когда должна быть определена функция, называемая управляющей функцией, при которой целевой функционал принимает свое максимальное или минимальное значение.

* E-mail корреспондирующего автора: kairak@mail.ru

При решении статических задач с нелинейной целевой функцией возникают большие сложности. Основные трудности связаны с многоэкстремальностью, большой размерностью и невыпуклостью целевой функции. К текущему моменту опубликовано не малое число работ, посвященных на преодоление вышеуказанных трудностей [9, 12, 13].

В настоящей работе предложен новый метод нахождения глобального минимума, основанный на идее вспомогательных функций. При этом объектом исследования является не сама целевая функция, а вспомогательная функция одной переменной, построенная путем преобразования исходной функции цели с помощью интеграла Лебега. Следует отметить, что изученная в данной работе вспомогательная функция рассматривалась в работе [14]. В ней с ее помощью был предложен алгоритм деления отрезка пополам вычисления глобального экстремума для гладких и многоэкстремальных функций нескольких переменных, определенных на выпуклых компактных множествах. В настоящей статье, в отличие от работы [14], подробно исследованы основные свойства указанной вспомогательной функции для любой непрерывной функции цели. Установлен критерий оптимальности.

Постановка задачи. Рассмотрим измеримое пространство с мерой $(\mathbb{R}^n, \mathfrak{B}, \mu)$, где \mathbb{R}^n – евклидово n мерное пространство, \mathfrak{B} – Борелевская σ -алгебра в пространстве \mathbb{R}^n , μ мера Лебега над \mathfrak{B} .

Пусть E – замкнутое множество пространства \mathbb{R}^n и $F: E \rightarrow \mathbb{R}$ – непрерывная целевая функция с вещественными значениями. Из непрерывности F следует измеримость множества $E(F, \alpha) = \{x \in E | F(x) \leq \alpha\}$ для каждого $\alpha \in \mathbb{R}$. Кроме того, будем полагать, что $\exists \alpha \in \mathbb{R}$ множество $E(F, \alpha)$ компактное, непустое и $F \in L_m(E, \mu)$, для некоторого целого положительного числа m .

Рассмотрим задачу

$$\bar{\alpha} = \text{globmin}_{x \in E} F(x). \tag{1}$$

Введем вспомогательную функцию

$$g_m(F, \alpha) = \int_E [|F(x) - \alpha| - F(x) + \alpha]^m d\mu, \tag{2}$$

играющую важную роль при дальнейшем изложении. Здесь m некоторое заданное натуральное число.

Целью настоящей работы является изучение основных свойств функций (2) и на их основе построение эффективного численного метода решения задачи (1).

Свойства вспомогательной функции. Лемма 1. *Вспомогательная функция (2) имеет следующие свойства:*

- 1) $g_m(F, \alpha) \geq 0$;
- 2) $g_m(C, \alpha) = 0$ для любой постоянной $C \geq \alpha$;
- 3) $g_m(kF, k\alpha) = k^m g_m(F, \alpha)$, для вещественного числа $k \geq 0, \alpha \geq \bar{\alpha}$;
- 4) $g_m(k + F, k + \alpha) = g_m(F, \alpha)$, для любого вещественного k и всех $\alpha \geq \bar{\alpha}$;
- 5) $g_m(\alpha + F, \alpha) = g_m(F, 0)$, для всех $\alpha \geq \bar{\alpha}$;

- 6) $g_m(\alpha F, \alpha) = \alpha^m g_m(F, 1)$ для каждого $\alpha \geq 0$;
- 7) равномерно непрерывна в промежутке $\alpha \geq \alpha_0$, где $\forall \alpha_0 > \bar{\alpha}$;
- 8) является строго выпуклой в промежутке $\alpha \geq \alpha_0$, где $\forall \alpha_0 > \bar{\alpha}$.

Доказательство.

$$\begin{aligned}
 1) \quad g_m(F, \alpha) &= \int_{E \setminus E(F, \alpha)} [|F(x) - \alpha| - F(x) + \alpha]^m d\mu + \int_{E(F, \alpha)} [|F(x) - \alpha| - F(x) + \\
 \alpha]^m d\mu &= \int_{E \setminus E(F, \alpha)} [(F(x) - \alpha) - F(x) + \alpha]^m d\mu + \int_{E(F, \alpha)} [-(F(x) - \alpha) - F(x) + \alpha]^m d\mu = \\
 &= \int_{E(F, \alpha)} [2(\alpha - F(x))]^m d\mu \geq 0,
 \end{aligned}$$

поскольку выражение под последним интегралом неотрицательно на множестве $E(F, \alpha)$.

$$2) \quad g_m(C, \alpha) = \int_E [|C - \alpha| - C + \alpha]^m d\mu = \int_E [(C - \alpha) - C + \alpha]^m d\mu = 0.$$

$$3) \quad g_m(kF, k\alpha) = \int_E [|kF(x) - k\alpha| - kF(x) + k\alpha]^m d\mu = k^m \int_E [|F(x) - \alpha| - F(x) + \alpha]^m d\mu = k^m g_m(F, \alpha).$$

$$4) \quad g_m(k + F, k + \alpha) = \int_E [|k + F(x) - k - \alpha| - k - F(x) + k + \alpha]^m d\mu = \int_E [|F(x) - \alpha| - F(x) + \alpha]^m d\mu = g_m(F, \alpha).$$

$$5) \quad g_m(\alpha + F, \alpha) = \int_E [|\alpha + F(x) - \alpha| - \alpha - F(x) + \alpha]^m d\mu = \int_E [|F(x) - 0| - F(x) + 0]^m d\mu = g_m(F, 0).$$

$$6) \quad g_m(\alpha F, \alpha) = \int_E [|\alpha F(x) - \alpha| - \alpha F(x) + \alpha]^m d\mu = \alpha^m \int_E [|F(x) - 1| - F(x) + 1]^m d\mu = \alpha^m g_m(F, 1).$$

7) Выберем произвольные α_1, α_2 такие, что $\alpha_1 > \alpha_2 \geq \alpha_0$. Оценим модуль разности $|g_m(F, \alpha_1) - g_m(F, \alpha_2)| =$

$$\begin{aligned}
 &= \left| \int_E [|F(x) - \alpha_1| - F(x) + \alpha_1]^m d\mu - \int_E [|F(x) - \alpha_2| - F(x) + \alpha_2]^m d\mu \right| = \\
 &= \left| \int_{E(F, \alpha_1)} [2(\alpha_1 - F(x))]^m d\mu - \int_{E(F, \alpha_2)} [2(\alpha_2 - F(x))]^m d\mu \right| =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \left| \int_{E(F, \alpha_2)} [2(\alpha_1 - F(x))]^m d\mu + \int_{E(F, \alpha_1) \setminus E(F, \alpha_2)} [2(\alpha_1 - F(x))]^m d\mu - \right. \\
 &\quad \left. \int_{E(F, \alpha_2)} [2(\alpha_2 - F(x))]^m d\mu \right| \leq \\
 &\leq \left| \int_{E(F, \alpha_2)} \left[2(\alpha_1 - \alpha_2) \left((2(\alpha_1 - F(x)))^{m-1} + (2(\alpha_1 - F(x)))^{m-2} (2(\alpha_2 - F(x))) + \dots \right. \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \left. + \left((2(\alpha_1 - F(x))) \right) (2(\alpha_2 - F(x)))^{m-2} + (2(\alpha_2 - F(x)))^{m-1} \right) \right] d\mu \right| + \\
 &\quad + \left| \int_{E(F, \alpha_1) \setminus E(F, \alpha_2)} [2(\alpha_1 - F(x))]^m d\mu \right| = J_1 + J_2.
 \end{aligned}$$

Заметим, что выполнены следующие неравенства. На множестве $E(F, \alpha_2)$: $(2(\alpha_1 - F(x)))^{m-1} \leq (2(\alpha_1 - \alpha_0))^{m-1} = K$,

$$(2(\alpha_2 - F(x)))^{m-1} \leq (2(\alpha_1 - \alpha_0))^{m-1} = K.$$

И на множестве $E(F, \alpha_1) \setminus E(F, \alpha_2)$:

$$(2(\alpha_1 - F(x)))^m = (2(\alpha_1 - F(x)))^{m-1} 2(\alpha_1 - F(x)) \leq 2K|\alpha_1 - \alpha_2|.$$

Используя их, легко получить оценки:

$$J_1 \leq 2mK|\alpha_1 - \alpha_2| \mu(E(F, \alpha_2)) \leq 2mK|\alpha_1 - \alpha_2| \mu(E) = B_1|\alpha_1 - \alpha_2|, \text{ где}$$

$$B_1 = 2mK\mu(E);$$

$$J_2 \leq 2K|\alpha_1 - \alpha_2| (\mu(E(F, \alpha_1)) - \mu(E(F, \alpha_2))) =$$

$$= 2K|\alpha_1 - \alpha_2| \mu(E(F, \alpha_1)) \leq 2K\mu(E) \leq B_2|\alpha_1 - \alpha_2|, \text{ где } B_2 = 2K\mu(E).$$

Таким образом, для любого $\varepsilon > 0$ достаточно взять число $\delta = \varepsilon / (B_1 + B_2)$, что для произвольных α_1, α_2 , для которых $|\alpha_1 - \alpha_2| < \delta$ имеет место неравенство

$$|g_m(F, \alpha_1) - g_m(F, \alpha_2)| \leq J_1 + J_2 < (B_1 + B_2)|\alpha_1 - \alpha_2| < \frac{(B_1 + B_2)\varepsilon}{(B_1 + B_2)} = \varepsilon.$$

Это и доказывает равномерную непрерывность.

8) Выберем произвольные α_1, α_2 такие, что $\alpha_1 > \alpha_2 \geq \alpha_0$. Пользуясь неравенством Коши, $(u_1 + u_2)^m \leq 2^{m-1}(u_1^m + u_2^m)$, для любых $u_1, u_2 \geq 0$ и $m \in \mathbf{N}$. Покажем справедливость неравенства

$$\begin{aligned}
 g_m\left(F, \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) &\leq \frac{1}{2}(g_m(F, \alpha_1) + g_m(F, \alpha_2)). \\
 g_m\left(F, \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) &= \int_E \left[\left| F(x) - \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right| - F(x) + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \right]^m d\mu = \\
 &= \frac{1}{2^m} \int_E [|2F(x) - (\alpha_1 + \alpha_2)| - 2F(x) + (\alpha_1 + \alpha_2)]^m d\mu \leq \\
 &\frac{1}{2^m} \int_E [|F(x) - \alpha_1 + F(x) - \alpha_2| - (F(x) - \alpha_1) - (F(x) - \alpha_2)]^m d\mu \leq \\
 &\leq \frac{1}{2^m} \int_E [(|F(x) - \alpha_1| - F(x) + \alpha_1) + (|F(x) - \alpha_2| - F(x) + \alpha_2)]^m d\mu = I.
 \end{aligned}$$

Согласно утверждению 1) леммы 1, два выражения в круглых скобках под последним интегралом имеют неотрицательные значения, поэтому, применив вышеприведенное неравенство Коши, получим следующую оценку.

$$\begin{aligned}
 I &\leq \frac{1}{2^m} \int_E 2^{m-1} [(|F(x) - \alpha_1| - F(x) + \alpha_1)^m + (|F(x) - \alpha_2| - F(x) + \alpha_2)^m] d\mu = \\
 &= \frac{1}{2} (g_m(F, \alpha_1) + g_m(F, \alpha_2)).
 \end{aligned}$$

Лемма доказана.

Лемма 2. Вспомогательная функция (2) дифференцируема в каждой точке $\alpha > \bar{\alpha}$, где $\bar{\alpha} = \min_E F(x)$.

Доказательство. Пусть $\alpha + h > \alpha > \bar{\alpha}$, рассмотрим приращение вспомогательной функции

$$\begin{aligned}
 &g_m(F, \alpha + h) - g_m(F, \alpha) = \\
 &= \int_E [|F(x) - (\alpha + h)| - F(x) + (\alpha + h)]^m d\mu - \int_E [|F(x) - \alpha| - F(x) + \alpha]^m d\mu = \\
 &= \int_{E(F, \alpha+h)} [2(\alpha + h - F(x))]^m d\mu - \int_{E(F, \alpha)} [2(\alpha - F(x))]^m d\mu = \\
 &= \int_{E(F, \alpha)} [2(\alpha + h - F(x))]^m d\mu + \int_{E(F, \alpha+h) \setminus E(F, \alpha)} [2(\alpha + h - F(x))]^m d\mu \\
 &\quad - \int_{E(F, \alpha)} [2(\alpha - F(x))]^m d\mu =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \int_{E(F, \alpha)} \left[2h \left((\alpha + h - F(x))^{m-1} + (\alpha + h - F(x))^{m-2} (\alpha - F(x)) + \dots \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (\alpha - F(x))^{m-2} (\alpha + h - F(x)) + (\alpha - F(x))^{m-1} \right) \right] d\mu + \\
 &\quad + \int_{E(F, \alpha+h) \setminus E(F, \alpha)} [2(\alpha + h - F(x))]^m d\mu = I_1 h + I_2.
 \end{aligned}$$

Легко проверить, что

$$\lim_{h \rightarrow 0} I_1 = 2 \int_{E(F, \alpha)} m [2(\alpha - F(x))]^{m-1} d\mu = 2m g_{m-1}(F, \alpha).$$

Нетрудно видеть, что I_2 является бесконечно малой при $h \rightarrow 0$, поскольку выражение под интегралом в квадратных скобках не превосходит $2h$, и в силу непрерывности меры μ имеет место

$$0 \leq I_2 \leq (2h)^m \mu(E(F, \alpha + h) - \mu(E(F, \alpha))) \rightarrow 0.$$

Таким образом,

$$\frac{dg_m}{d\alpha} = 2m g_{m-1}(F, \alpha).$$

Лемма 2 доказана.

Следствие 1. При $m=1$

$$\frac{dg_1}{d\alpha} = 2\mu(E(F, \alpha)).$$

Следствие 2. Для любого заданного натурального числа m справедливо равенство

$$\frac{d^m g_m}{d\alpha^m} = (2)^m m! \mu(E(F, \alpha)).$$

Лемма 3. Пусть $\{\alpha_i\}$ – убывающая последовательность, предел которой при $i \rightarrow \infty$ равен $\alpha_0 \geq \bar{\alpha} = \min_E F(x)$. Тогда имеет место равенство

$$\lim_{i \rightarrow \infty} g_m(F, \alpha_i) = g_m(F, \alpha_0).$$

Доказательство. Рассмотрим абсолютное значение разности $|g_m(F, \alpha_i) - g_m(F, \alpha_0)|$

$$= \left| \int_E [|F(x) - \alpha_i| - F(x) + \alpha_i]^m d\mu - \int_E [|F(x) - \alpha_0| - F(x) + \alpha_0]^m d\mu \right| \rightarrow 0.$$

Стремление к нулю следует из равномерной непрерывности (лемма 1 утверждение 7).

Лемма 3 доказана.

Основной результат.

Теорема 1. Пусть E – замкнутое множество пространства \mathbb{R}^n и $F: E \rightarrow \mathbb{R}$ – непрерывная целевая функция с вещественными значениями. Глобальный минимум $\bar{\alpha}$ задачи (1) достигается в точке \bar{x} (где $\bar{\alpha}=F(\bar{x})$ и $\bar{\alpha} = \sup\{\alpha \in \mathbb{R} \mid g_m(F, \alpha) = 0\}$) тогда и только тогда, когда

$$g_m(F, \bar{\alpha}) = 0. \tag{3}$$

Доказательство необходимости. Предположим – \bar{x} – точка глобального минимума, где имеет место $\bar{\alpha}=F(\bar{x})$ и $\bar{\alpha} = \sup\{\alpha \in \mathbb{R} \mid g_m(F, \alpha) = 0\}$, , поэтому $F(x) \geq \bar{\alpha}$, для любого $x \in E$. Следовательно,

$$g_m(F, \bar{\alpha}) = \int_E [|F(x) - \bar{\alpha}| - F(x) + \bar{\alpha}]^m d\mu = \int_E [(F(x) - \bar{\alpha}) - F(x) + \bar{\alpha}]^m d\mu = 0.$$

Необходимость доказана.

Докажем достаточность от противного. Допустим, что выполнено (3) и $\bar{\alpha}$ не является точкой глобального минимума, где имеет место $\bar{\alpha}=F(\bar{x})$ и $\bar{\alpha} = \sup\{\alpha \in \mathbb{R} \mid g_m(F, \alpha) = 0\}$. Пусть значение глобального минимума равно $\tilde{\alpha}$. Обозначим $2\beta = \bar{\alpha} - \tilde{\alpha} > 0$ и заметим, что в этом случае $E(F, \tilde{\alpha})$ строго содержится во множестве $E(F, \bar{\alpha})$, поэтому $\mu(E(F, \bar{\alpha})) > \mu(E(F, \tilde{\alpha}))$.

$$\begin{aligned} g_m(F, \bar{\alpha}) &= \int_E [|F(x) - \bar{\alpha}| - F(x) + \bar{\alpha}]^m d\mu = \int_{E \setminus E(F, \bar{\alpha})} [|F(x) - \bar{\alpha}| - F(x) + \bar{\alpha}]^m d\mu + \\ &+ \int_{E(F, \bar{\alpha})} [|F(x) - \bar{\alpha}| - F(x) + \bar{\alpha}]^m d\mu = \\ &= \int_{E \setminus E(F, \bar{\alpha})} [(F(x) - \bar{\alpha}) - F(x) + \bar{\alpha}]^m d\mu + \int_{E(F, \bar{\alpha})} [-(F(x) - \bar{\alpha}) - F(x) + \bar{\alpha}]^m d\mu = \\ &= \int_{E(F, \bar{\alpha})} [2(\bar{\alpha} - F(x))]^m d\mu. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$g_m(F, \bar{\alpha}) = \int_{E(F, \bar{\alpha})} [2(\bar{\alpha} - F(x))]^m d\mu. \tag{4}$$

Далее преобразуем последнее выражение и осуществим оценку снизу:

$$\begin{aligned} g_m(F, \bar{\alpha}) &= \int_{E(F, \bar{\alpha}) \setminus E(F, \bar{\alpha} + \beta)} [2(\bar{\alpha} - F(x))]^m d\mu + \int_{E(F, \bar{\alpha} + \beta)} [2(\bar{\alpha} - F(x))]^m d\mu \geq \\ &\geq 2\beta \left(\mu(E(F, \bar{\alpha})) - \mu(E(F, \tilde{\alpha})) \right) > 0. \end{aligned}$$

А это противоречит равенству (3). Теорема доказана.

Доказанная теорема справедлива для каждого фиксированного натурального m , поскольку при доказательстве никаких ограничений на m не накладывали.

Следствие. Пусть выполнены условия теоремы 1 и $m=1$. Тогда

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{\mu(E(F, \bar{\alpha}))} \int_{E(F, \bar{\alpha})} F(x) d\mu. \quad (5)$$

При $m=1$ равенство (3) имеет вид

$$\int_{E(F, \bar{\alpha})} (2(\bar{\alpha} - F(x))) d\mu = 0.$$

Отсюда, выражая $\bar{\alpha}$, получим (5).

Заключение. Исследованы основные свойства вспомогательной функции. Оказалось, что вспомогательная функция для всякой целевой функции является неотрицательной, положительно однородной, равномерно непрерывной и дифференцируемой. Вычислены производные высших порядков. Установлен и доказан критерий оптимальности.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Agasiyev, T. A., & Karpenko, A. P. (2018). Sovremennyye tekhniki global'noy optimizatsii. *Obzor. Informatsionnyye tekhnologii*, 24(6), 370-386. doi: 10.17587/it.24.370-386
- 2 Locatelli, M., Schoen, F. (Eds.). (2013). *Global Optimization: Theory, Algorithms, and Applications*. Philadelphia. Society for Industrial and Applied Mathematics. ISBN: 978-1611972665
- 3 Horst, R., Tuy, H. (2013). *Global Optimization: Deterministic Approaches*. Third Edition. Springer Science & Business Media. Heidelberg. eBook ISBN: 978-3-662-02598-7. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-02598-7>.
- 4 Floudas, C. A., Pardalos, P. M. (2014). *Recent Advances in Global Optimization*, Princeton: Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400862528>.
- 5 Zakharova, Ye. M., & Minashina, I. K. (2014). *Obzor metodov mnogomernoy optimizatsii. Informatsionnyye protsessy*, 14(3), 256-274.
- 6 Floudas, C. A., Akrotirianakis, I. G., Caratzoulas, S., Meyer, C. A., Kallrath, J. (2005). Global optimization in the 21st century: Advances and challenges. *Comput. Chem. Eng.*, 29 (2005), pp. 1185–1202. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2005.02.006>.
- 7 Pint'er, J. D. (2006). *Global Optimization: Scientific and Engineering Case Studies*, vol. 85, Springer Science & Business Media. New York. <https://doi.org/10.1007/0-387-30927-6>.
- 8 Kunde, C., Michaels, D., Micovic, J., Lutze, P., Górak, A., Kienle, A. (2015). Deterministic global optimization in conceptual process design of distillation and melt crystallization. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol. 99, pp. 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.09.010>.
- 9 Locatelli, M., Schoen, F. (2021). (Global) Optimization: historical notes and recent developments. *EURO Journal on Computational Optimization*, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.ejco.2021.100012>.
- 10 Liberti, L., Sergei, K. (2005). Comparison of deterministic and stochastic approaches to global optimization. *Int. Trans. Oper. Res.*, 12, pp. 263–285. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2005.00503.x>.
- 11 Zhigljavsky, A., Zilinskas, A. (2007). *Stochastic Global Optimization*. Springer Science & Business Media, New York, Vol. 9, <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74740-8>.

12 Zhu, W., Ali, M. M. (2009). Solving nonlinearly constrained global optimization problem via an auxiliary function method. *Journal of computational and applied mathematics*, 230(2), pp. 491-503. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2008.12.017>.

13 Sergeev, Y. D., Kvasov, D. E. (2015). A deterministic global optimization using smooth diagonal auxiliary functions. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol. 21, Issues 1–3, pp. 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.08.026>.

14 Kaidassov, Z., Tutkusheva, Z.S. (2021). Algorithm for calculating the global minimum of a smooth function of several variables. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, Vol. 8, No. 4, pp. 591-596. <https://doi.org/10.18280/mmep.080412>.

REFERENCES

1 Agasiyev, T. A., & Karpenko, A. P. (2018). *Sovremennyye tekhniki global'noy optimizatsii. Obzor. Informatsionnyye tekhnologii*, 24(6), 370-386. doi: 10.17587/it.24.370-386

2 Locatelli, M., Schoen, F. (Eds.). (2013). *Global Optimization: Theory, Algorithms, and Applications*. Philadelphia. Society for Industrial and Applied Mathematics. ISBN: 978-1611972665

3 Horst, R., Tuy, H. (2013). *Global Optimization: Deterministic Approaches*. Third Edition. Springer Science & Business Media. Heidelberg. eBook ISBN: 978-3-662-02598-7. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-02598-7>.

4 Floudas, C. A., Pardalos, P. M. (2014). *Recent Advances in Global Optimization*, Princeton: Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400862528>.

5 Zakharova, Ye. M., & Minashina, I. K. (2014). *Obzor metodov mnogomernoy optimizatsii. Informatsionnyye protsessy*, 14(3), 256-274.

6 Floudas, C. A., Akrotirianakis, I. G., Caratzoulas, S., Meyer, C. A., Kallrath, J. (2005). Global optimization in the 21st century: Advances and challenges. *Comput. Chem. Eng.*, 29 (2005), pp. 1185–1202. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2005.02.006>.

7 Pint'er, J. D. (2006). *Global Optimization: Scientific and Engineering Case Studies*, vol. 85, Springer Science & Business Media. New York. <https://doi.org/10.1007/0-387-30927-6>.

8 Kunde, C., Michaels, D., Micovic, J., Lutze, P., Górak, A., Kienle, A. (2015). Deterministic global optimization in conceptual process design of distillation and melt crystallization. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, Vol. 99, pp. 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2015.09.010>.

9 Locatelli, M., Schoen, F. (2021). (Global) Optimization: historical notes and recent developments. *EURO Journal on Computational Optimization*, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.ejco.2021.100012>.

10 Liberti, L., Sergei, K. (2005). Comparison of deterministic and stochastic approaches to global optimization. *Int. Trans. Oper. Res.*, 12, pp. 263–285. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2005.00503.x>.

11 Zhigljavsky, A., Zilinskas, A. (2007). *Stochastic Global Optimization*. Springer Science & Business Media, New York, Vol. 9, <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74740-8>.

12 Zhu, W., Ali, M. M. (2009). Solving nonlinearly constrained global optimization problem via an auxiliary function method. *Journal of computational and applied mathematics*, 230(2), pp. 491-503. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2008.12.017>.

13 Sergeev, Y. D., Kvasov, D. E. (2015). A deterministic global optimization using smooth diagonal auxiliary functions. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol. 21, Issues 1–3, pp. 99-111. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.08.026>.

14 Kaidassov, Z., Tutkusheva, Z.S. (2021). Algorithm for calculating the global minimum of a smooth function of several variables. *Mathematical Modelling of Engineering Problems*, Vol. 8, No. 4, pp. 591-596. <https://doi.org/10.18280/mmep.080412>.

А. К. ҚАЙРАҚБАЕВ¹, Ж. С. ТУТҚУШЕВА²

¹Қазақ-Орыс халықаралық университеті, Ақтөбе, Қазақстан;

²Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан,

**ГЛОБАЛДЫҚ ЭКСТРЕМУМДЫ ЕСЕПТЕУГЕ АРНАЛҒАН БІР
КӨМЕКШІ ФУНКЦИЯНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІ ТУРАЛЫ**

Бұл жұмыс көп айнымалды функцияның глобалдық экстремумын есептеу үшін қажет бір көмекші функцияның (КФ) қасиеттерін зерттейді. Қарастырылып отырған КФ мақсатты функцияны Лебег интегралымен түрлендіру арқылы құрылады және бір айнымалды функция болып табылады. Алдыңғы жұмыстарда бұл КФ кесіндіні екіге бөлу алгоритмі арқылы дөңес және жабық жиындарда тегіс функциялардың глобалдық минимумын табу үшін қолданылғанына қарамастан, оның қасиеттері зерттелмеген. Мұнда бұл КФ көп өлшемді Евклид кеңістігінің шектеулі жабық жиындарында берілген үздіксіз функциялардың глобалдық экстремумын есептеу үшін қолданылады. Кез-келген үздіксіз мақсатты функция үшін КФ негізгі қасиеттері анықталған, мысалы, теріс емес, оң біртектілік, біркелкі үздіксіздік, дифференциалдылық және қатаң дөңес, сонымен қатар жоғарғы ретті туындылары табылған. Оңтайлылық критерийі тұжырымдалған. Оңтайлылықтың негізгі критерийі – КФ және оның туындылары нөлге тең болатын тәуелсіз айнымалының мәні мақсатты функцияның глобалдық минимумымен сәйкес келеді. Осы оңтайлылық критерийіне сүйеніп мақсатты функцияның глобалдық минимумын есептеу үшін КФ нөлін немесе оның қандай да бір туындысының нөлін табу жеткілікті.

Түйін сөздер: көмекші функция, глобалдық экстремум, детерминирленген әдістер, оңтайландыру әдістері, көп экстремалдылық, статикалық есептер, оңтайлылық критерийі, көмекші функцияның қасиеттері.

A. K. KAIRAKBAEV¹, Z. S. TUTKUSHEVA²

¹Kazakh-Russian International University, Aktobe, Kazakhstan;

²Zhubanov Aktobe Regional University, Aktobe, Kazakhstan

**ON THE PROPERTIES OF ONE AUXILIARY FUNCTION FOR
CALCULATING THE GLOBAL EXTREMUM**

In this paper, we investigate the properties of one Auxiliary Function (AF) for calculating the global optimum of a function of many variables. The considered AF is constructed by transforming the objective function using the Lebesgue integral and is a function of one variable. Despite the fact that in previous works this AF was used to find the global minimum of smooth functions on convex closed sets using the algorithm of dividing a segment in half, its properties have not been studied. Here, this AF is used to calculate the global extremum of continuous functions defined on bounded closed sets of a multidimensional Euclidean space. The basic properties of the AF for any continuous objective function are established, such as non-negativity, positive uniformity, uniform continuity, differentiability and strict convexity, moreover, derivatives up to a certain order are found. The optimality criterion is formulated. The main criterion of optimality is that the value of a free variable, at which the AF and its derivatives are equal to zero up to some order, coincides with the global minimum of the objective function. It follows from this optimality criterion that to calculate the global minimum of the objective function, it is sufficient to find the zero of the AF or its derivative up to some order.

Key words: auxiliary function, global extremum, deterministic methods, optimization methods, multiextremality, static problems, optimality criterion, properties of auxiliary function

Т. Б. ҚОШТЫБАЕВ^{1*}, Ш. А. АЛИЕВ², Т. Б. ДИҚАМБАЙ³, М. Е. АЛИЕВА³

¹Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университетінің доценті,
Алматы, Қазақстан;

²И. Арабаев атындағы Қырғыз мамлекеттік университетінің профессоры,
Бішкек, Қырғызстан;

³ Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің докторанты,
Алматы, Қазақстан

СЕРПІМДІ ДЕФОРМАЦИЯ ЖӘНЕ ГИДРОСТАТИКА ЗАҢДАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ БІРІЗДІЛІГІ

Ньютонның үшінші заңына сәйкес табиғатта денеге жасалатын сыртқы әсерлер өздеріне қарсылық көрсететін әсерлерді пайда ететін жағдайлар да кездеседі. Солардың ішіндегі негізгілері – серпімді деформация және гидростатика заңдары, табиғаты жағынан ұқсастығы жоқ болғанымен, математикалық механизмі тұрғысынан бірізді. Мақалада серпімділік және Архимед күштерінің математикалық өрнектерін алу тәсілі салыстырмалы түрде жан-жақты талданып көрсетілген. Бірлік ұзындықтың серпімді деформациясы кезінде және сұйықтың бірлік көлемінің ығысуы жағдайында пайда болатын қарсылық әсерлерінің мәндері арқылы жалтылама кері әсерлік күштердің қосынды мәндері анықталған. Серпімді деформациялық және гидростатикалық коэффициенттердің маңыздылығы мен тәуелділіктері ортаның қасиеттерімен байланыстрыла айқындалған. Деформациялық және гидростатикалық қарсы әсерлер сыртқы әсерлер жағдайында ана байқалатын ерекшеліктері сараланған.

Түйін сөздер: деформация, механикалық кернеу, тығыздық, сұйық, салмақ, гидростатика, серпіне.

Кіріспе. Табиғатта денеге жасалатын сыртқы (басқа денелердің) әсерлерінің нәтижесі дененің қасиеттеріне де байланысты болатыны белгілі. Ньютонның бірінші заңында инертті (массасы үлкен) дене маңайындағы басқа денелердің әсеріне қарамастан өзінің күйін сақтап қалатындығы айтылған. Бұл жағдай денелердің сыртқы әсерлерге қарсылық көрсете алу (инерттілік) қасиетінен хабардар етіп тұр. Ал Ньютонның екінші заңында инертсіз (массасы аз) денелердің сырттан жасалатын әсерлерге қарсыласу қабілетінің төмен болуынан өздерінің алғашқы күйлерін өзгертуге (үдеу алуға) бейім екендігі айтылады. Әсерді қабылдаушы денелердің бастапқы механикалық күйлер ретінде олардың тыныштықта тұруы немесе бірқалыпты қозғалыста болуы алынады. Дененің қандай механикалық күйде болғандығы оның кеңістіктегі орындарын анықтайтын координаталарының өзгерісі арқылы анықталады. Тыныштықта тұрған дененің координатасы өзгермейді, яғни координатаның секунд сайынға өзгерісі (жылдамдығы) нөлге тең. Бірқалыпты қозғалыстағы дененің координаталары тұрақты жылдамдықпен өзгереді. Сыртқы әсерлер дененің координаталарының бірқалыпсыз, ал жылдамдықтың бірқалыпты өзгеруіне себепкер болады (дененің үдемелі қозғалысы).

Денеге жасалатын әсерлер денеде өздеріне қарсыласатын кері әсерлерді пайда ете алады. 1660 жылы ағылшын ғалымы Р. Гук серіппені созған кезде серпімділік

* E-mail корреспондирующего автора: koshtybayev70@mail.ru

күштерінің пайда болатынын, ал И. Ньютонның 1687 жылы жарияланған үшінші заңында кез-келген әсер қарсы әсер туғызатынын жайында айтылған болатын [1,2]. Б.э. дейінгі III ғасырда ашылған Архимед заңында да сұйыққа батқан денеге ығысқан сұйық тарапынан кері көтеруші күштің әсеріне тап болатыны туралы баяндалған. Олай болса, денеге жасалатын әсерлер денеге үдеу ғана беріп қоймай оның геометриялық өлшемдерін (формасын, пішінін) де өзгерте (деформациялай) алады. Гук заңы физиканың динамика, ал Архимед заңы гидростатика бөлімдеріне қатысты болғандықтан олардың арасында ешқандай бір байланыс жоқтай көрінеді.

Алайда, серпімділік және кері көтеруші күштер сыртқы әсерлерге қарсылық көрсетушілер ретінде пайда болып, әсерлер тоқтаған кезде жоғалып кететіндер болғандықтан, олардың математикалық шығарылу (қорытылу) жолдары мен жазылу формулаларының ұқсастықтары (бірізділіктері) байқала бермейді. Ұсынылып отырған мақалада осы жағдай барынша ашық түрде жан-жақты талданып көрсетілетін болады.

Негізгі бөлім. Серпімділік теориясының негізгі заңы. Серіппеге жасалатын сыртқы әсер серіппені созуы немесе сығуы мүмкін, бұл жағдай серіппенің деформациясы (деформациялануы) деп аталады. Әсерлердің ықпалы тоқтаған кезде жойылатын (жоғалатын) деформация–серпімді, жойылмаса–серпімсіз болып табылады. Р. Гук серпімді деформацияланған серіппеде деформацияны болдырмауға ұмтылып тұратын серпімділік күштерінің пайда болатындығы туралы айтқан болатын. Ұзындығы l см, орамдарының ауданы S см² серіппенің бір ұшы бекітілген, ал екінші ұшы динамометрге жалғанған болсын. l және S шамалары серіппенің геометриялық өлшемдері (параметрлері) болып табылады. Орамдардың әрқайсысы дөңгелек пішінді болғандықтан, олардың ауданы $S = \pi R^2 = \frac{\pi d^2}{4}$ ($R, d = 2R$ –орамның (дөңгелектің) радиусы мен диаметрі). Серіппенің екінші ұшындағы динамометр арқылы серіппені OX осьінің оң бағытында Δl см-ге созуға және OX осьінің теріс бағытында Δl см-ге сығуға болады (серіппенің горизонталь деформациясы). Δl шамасын серіппенің абсолют деформациясы деп атайды және ол әрқашан оң шама ($\Delta l > 0$). Деформацияланған серіппенің ұзындығы l_1 см болса, онда $\Delta l = |l_1 - l|$. Абсолют деген ұғымның қажеттілігіне тоқталайық: серіппе созылған кезде $l_1 > l$, бұл жағдайда абсолют амалын қолданудың қажеті жоқ: $\Delta l = l_1 - l > 0$; серіппе сығылған кезде $l_1 < l$, бұл жағдай үшін $\Delta l = |l_1 - l|$ қолданылады. Динамометр сыртқы деформациялаушы (созушы) әсердің $F_1 H$ мәнін көрсетеді. Ауданы S см²-қа тең орамдардың 1 см² ауданшаларына келетін F_1 -дің үлесі механикалық кернеу деп аталады:

$$\sigma \frac{H}{\text{см}^2} = \frac{F_1}{S} \frac{H}{\text{см}^2}$$

немесе

$$\sigma \text{ Па} = \left(\frac{F_1}{S} \right) \cdot 10^4 \frac{H}{\text{м}^2}$$

Серіппе затының (жасалған материалының) сыртқы деформацияға қарсылық көрсету қабілетін (беріктілігін) көрсететін шаманы Юнг модульы (E Па) деп атайды және ол σ -ның $\left(\frac{\Delta\ell}{\ell}\right)$ процентіне тең:

$$E = \left(\frac{\Delta\ell}{\ell}\right)\sigma \tag{1}$$

Мысалы, серіппенің алғашқы ұзындығы $\ell = 70$ см, ал оның деформациясы (ұзаруы) $\Delta\ell = 21$ см болса, онда (1)-ден:

$$E = \left(\frac{\Delta\ell}{\ell}\right)\sigma = \left(\frac{21}{70}\right)\sigma = 0,3\sigma$$

яғни Юнг модульы механикалық кернеудің 30 % үлесіне тең. Серіппеге сырттан шамасы F_1H -ға тең әсер жасалып, ол $\Delta\ell$ см-ге созылған кезде $\Delta\ell$ -дің *әрбір сантиметрінде* бағыттары сыртқы әсерге қарама-қарсы болатын, ал шамасы $\left(\frac{ES}{\ell}\right)$ Ньютонға тең (немесе F_1 -дің *әрбір см-ге келетін үлесіне* тең) қарсылық танытушы (қарсыласушы) әсерлер $\left(k \frac{H}{\text{см}}\right)$ пайда болады:

$$k \frac{H}{\text{см}} = \left(\frac{ES}{\ell}\right) \frac{H}{\text{см}} \tag{*}$$

$$k \frac{H}{\text{см}} = \frac{F_1}{\Delta\ell} \frac{H}{\text{см}} \tag{**}$$

$\Delta\ell$ -дің шамасы (мәні) көбейген сайын қарсылық әсерлерінің $(k\Delta\ell)$ мөлшері де көбейе береді. Ал сыртқы деформациялаушы әсер тоқтағанда k -дың да пайда болуы тоқтайды [3]. Сыртқы әсер өздерінің ықпалын тоқтатқан кезде қарсылық (кері) әсерлер серіппені қайтадан алғашқы ℓ см ұзындыққа қайтарады. (*)-тендігінен k -ның серіппе жасалған материалдың сыртқы деформацияға қарсылық көрсете алу қабілетіне (серпімділік дәрежесіне немесе қатандығына) және серіппенің геометриялық өлшемдеріне тәуелді болатынын көруге болады: $k - E, S$ және $k - \frac{1}{\ell}$. Осы келтірілген жағдайларға байланысты k көбіне серпімділік (қатандық) коэффициенті немесе серіппенің қатандығы деп айтылып жүр. Ал (**) -тендігіне байланысты k -ны деформациялаушы әсердің сызықтық тығыздығы деп атауға болады. Деформациялық сантиметрлердің жалпы саны $\Delta\ell$, ал олардың әрқайсысында k қарсылық әсерлер бар екені айтылды. k -дың қосындысы (summa) серпімділік әсерін (F_2H) береді:

$$F_2 H = k \frac{H}{\text{см}} \cdot \Delta\ell \text{ см} \tag{2}$$

және оның шамасы (мәні) F_1 -е тең, ал бағыты оған қарама-қарсы:

$$F_2 \cos 180^\circ = F_1 \cos 0^\circ \tag{3}$$

(2) және (3)-теңдіктер Гук заңы деп аталады: серпімді денеге (серіппеге) сырттан мәні F_1H -ға тең деформациялаушы (созушы, сығушы) әсер жасалған кезде серіппенің деформацияланған $\Delta \ell$ см бөлігінде шамасы F_1H -ға тең, ал бағыты оған қарама-қарсы серпімділік (кері қайтарушы немесе қарсылық көрсетуші) әсері (F_2H) пайда болады. (3)-теңдікте $\gamma = 0^\circ$ – серіппені деформациялаушы F_1 әсердің бағыты (OX осының оң жақ бағыты), ал $\alpha = 180^\circ$ – серпімділік F_2 әсердің бағыты (OX осының сол жақ бағыты). Сонда, (3)-теңдіктен:

$$F_2 \cos 180^\circ = F_1 \cos 0^\circ$$

$\cos 180^\circ = -1$, $\cos 0^\circ = 1$ мәндерін ескерсек, онда

$$F_2 = -F_1 \tag{3A}$$

Бұл Ньютонның үшінші заңы деп аталады: серпімді денеге сырттан жасалған кез-келген түрдегі F_1 әсер денені деформациялайды және деформацияланған бөлікте өзіне қарсылық көрсететіп денені бастапқы қалпыны (ℓ см ұзындық жағдайына) қайтаруға тырысатын F_2 әсерді пайда етеді. Серіппенің вертикаль деформациясына қол жеткізу үшін оның екінші ұшын OY осьі бағытында төмен (Жерге) қаратып, оған массасы m кг дене (жүк) ілу керек. Сонда серіппе жүктің $F_1 = mg$ салмағымен $\Delta \ell$ см-ге созылады. Серіппенің екінші ұшын жоғары қаратып, оған массасы m кг дене (жүк) орналастырса, серіппе жүктің салмағымен $\Delta \ell$ см-ге сығылады. Бұл жағдайлар үшін (**)-теңдігінен

$$k \frac{H}{\text{см}} = \left(\frac{mg}{\Delta \ell} \right) \frac{H}{\text{см}}$$

немесе өлшемсіз жазатын болсақ:

$$k \Delta \ell = mg$$

$k = \frac{ES}{\ell}$ қатынасын ескерсек:

$$\frac{ES \Delta \ell}{\ell} = mg$$

Юнг модулы

$$E = \frac{mg \ell}{S \Delta \ell} \tag{4}$$

Гидростатиканың негізгі заңы. Дәл осындай жолдармен Архимед заңының математикалық негіздемесін көрсетугі болады. Тығыздығы $\rho_0 \frac{\text{кг}}{\text{см}^3}$, көлемі $V_0 \text{ см}^3$ және массасы $m_0 = \rho_0 V$ (салмағы m_0g) денені тығыздығы ρ сұйыққа салайық [4–6]. Бұл кезде дене V_0 көлемінің $\Delta V_0 \text{ см}^3$ бөлігі сұйыққа батады да, қалған ($V_0 - \Delta V$) бөлігі сұйық бетінде (ауада) қалады. Дененің сұйыққа батқан көлемі оның толық көлемінің $\left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)$ процентін құрайды:

$$\Delta V = \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right) V_0 \tag{A}$$

яғни, дене мен сұйықтың тығыздықтарын біле отырып дененің қандай бөлігі сұйыққа бататынын алдын-ала болжауға болады екен. $\rho_0 = \rho$ шартында дене сұйыққа түгелдей (100 %) батып кетеді. Ал $\rho \gg \rho_0$ шартында дене сұйықтың бетінде жүзіп жүреді, яғни $V_0 \gg \Delta V_0$. Егер дененің тығыздығы сұйық тығыздығынан 2 есе аз болса ($\rho_0 = \frac{\rho}{2}$), онда дененің тең жартысы (50 %) сұйыққа бататын болады. Денені сұйыққа салғанда көлемінің ΔV_0 см³ бөлігі h м тереңдікке дейін бататын болса, онда осындай көлемдегі массасы Δm кг сұйық ығысып шығады. Басқаша айтсақ, дене өзінің сұйыққа салынбай тұрғандағы (ауадағы) $F_0 = m_0 g$ салмағының $\Delta m \cdot g$ -ға тең болатын бөлігін жоғалтады. Нәтижеде дененің сұйықтағы салмағы оның ауадағы салмағынан $\Delta m \cdot g$ Ньютонға (Н) аз болып шығады: $F_c = F_0 - \Delta m g$. Осы $\Delta m \cdot g$ -ға тең шама Архимед күші болып табылады. Мысалы, динамометрдің көмегімен қандай да бір дененің салмағын өлшегенде ол 5 Н-ға, ал осы денені динамометр арқылы суға түгел бататындай етіп салған кезде динамометр 2 Н-ды көрсетеді. Дененің ауадағы салмағы (5 Н) мен судағы салмағының (2 Н) айырымы 3 Н-ға тең (Архимед күші). Сонда, дененің сұйықтағы салмағы оның ауадағы салмағының (2/5) бөлігіндей (0,4 немесе 40 % тең), ал Архимед күші болса дененің ауадағы салмағының 3/5 бөлігіндей (0,6 немесе 60 %). Жалпы жағдайда, дененің сұйықтағы F_c салмағы оның ауадағы F_0 салмағының $\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0}$ процентіне тең болады [7–9]:

$$F_c = \left(\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} \right) F_0 \tag{5}$$

Осыған дене салмақтарының 5 Н, 2 Н мәндерін қойсақ:

$$2 = \left(\frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} \right) 5$$

Ықшамдаудан кейін алатынымыз:

$$\rho_0 = \left(\frac{5}{3} \right) \rho \tag{5A}$$

Олай болса, дененің ρ_0 тығыздығы сұйықтың ρ тығыздығынан 5/3 есе көп болады екен. (5A)-ны (A)-қатынасына қойсақ, онда

$$\Delta V = \left(\frac{5}{3} \right) V_0 = 1,6 V_0$$

яғни, дененің сұйыққа толық батып тұрғанын көруге болады. (5)-формуладан дененің тығыздығын анықтайтын өрнекті шығады:

$$\rho_0 = \frac{\rho F_0}{F_0 - F_c}$$

Осы өрнекке $F_0 = 5 \text{ Н}$, $F_c = 2 \text{ Н}$ мәндерді қойып (5А)-қатынасты алуға болады.

(5)-өрнек Архимед күші дененің ауадағы салмағының $\left(\frac{\rho}{\rho_0}\right)$ процентіне тең болатынын білдіреді:

$$F_A = \frac{\rho}{\rho_0} F_0 \quad (6)$$

Сонымен, бір бөлігі сұйыққа батып тұрған дененің ауадағы салмағы оның сұйықтағы салмағы мен Архимед күшінің қосындысынан кұралады:

$$F_0 = F_c + F_A = \frac{\rho_0 - \rho}{\rho_0} F_0 + \frac{\rho}{\rho_0} F_0$$

$\rho_0 = \rho$ шартында дене сұйыққа түгелдей (100 %) батып кетеді, бұл кезде дененің сұйықтағы салмағы (5)-тен: $F_c = 0$, ал Архимед күші дененің салмағына тең, яғни (6)-дан: $F_A = F_0$. Дененің ауадағы $F_0 = m_0 g$ салмағын 100 % деп алсақ, дененің бір бөлігі сұйыққа батқан кезде Архимед күші пайда болатыны айтылды [7–9]. Сонда, сұйықта тұрған дененің салмағы 100 % емес, мысал үшін 75 % болып қалады (салмақ 25 %-ға кеміді немесе 25 пайызын жоғалтты). Дененің ауадағы салмағының қалған 75 % дененің сұйықтағы салмағы болады да, жоғалған 25 % пайда болған Архимед күшіне тең. Олай болса, Архимед күші дененің ауадағы салмағының кемуі есебінен пайда болады екен, яғни салмақ қанша Ньютонға кемісе сол Архимед күші болады да, салмақтың кемігеннен қалған мәні дененің сұйықтағы салмағы болып табылады. Дененің сұйыққа батып тұратын көлемі (бөлігі) көбейген сайын Архимед күші де көбейе береді. Дененің сұйықтағы салмағы оның ауадағы салмағынан аз болуы сұйық тарапынан дененің салмағына қарсы (жоғары қарай) бағытталатын Архимед күшінің пайда болуымен байланысты. Оның пайда болу механизмін екі жағдаймен түсіндіріледі.

Бірінші жағдай. Цилиндр тәрізді денені сұйыққа салғанда оның бастапқы көлемінің ΔV_0 см³ бөлігі h м тереңдікке дейін бататын болсын деп алайық. Дененің батқан көлемі ауданы S см²-қа тең табаны мен h м тереңдіктің көбейтіндісіне тең: $\Delta V = Sh$. Сұйық h м тереңдікте табанның әрбір см² ауданшаларына ρgh Ньютонға тең әсер жасайды, бұл әсерлер жоғары қарай (дененің салмағына қарсы) бағытталады. 1 см² ауданшаға келетін әсер (күш) сұйықтың гидростатикалық қысымы деп аталады: $P = \rho gh$. Әрбір 1 см² ауданшаға келетін P Ньютон әсерлердің немесе ρgh Ньютондардың қосындысы (summa) Архимед күшіне тең:

$$F_a = PS = \rho ghS = \rho g \Delta V$$

Екінші жағдай. Дененің батқан көлеміне тең ығысқан сұйықтың әрбір 1 см³ көлемінде ρg Ньютонға тең болатын және k арқылы белгіленетін кері көтеруші күш (әсер) пайда болады: $k - \rho g$. Ығысқан сұйықтағы 1 см³ көлемдерінің саны ΔV , онда

олардың әрбіріндегі k күштердің саны да ΔV -ға тең. k күштердің қосындысы (summa) Архимед күшін береді:

$$F_a = k\Delta V = (\rho\Delta V)g \quad (7)$$

Бұл жерде $\rho\Delta V$ көбейтіндісі ығысқан сұйықтың массасына тең: $\Delta m = \rho\Delta V$. Осыны (7)-ке қойсақ: $F_a = \Delta m g$. Олай болса, Архимед күші ығысып шыққан сұйықтың салмағына тең болады екен. Дене сұйыққа түгел батқан жағдайда ығысқан сұйық дененің көлеміне тең болады да, сол кездегі Архимед күші $F_a = \rho V_0 g$.

Қорытынды. Өздеріне қарсылық көрсетуші әсерлер пайда ететін сыртқы әсерлердің табиғаты әртүрлі болғанымен олардың механизмдері өте ұқсас екеніне көз жеткіздік. Серпімді деформация жағдайында әрбір бірлік ұзындықтағы деформациясынан, ал гидростатика жағдайында сұйықтың әрбір бірлік көлемінің ығысуынан пайда болатын қарсыласу әсерлерінің мәндерін білу арқылы жалпылама кері әсерлердің мәндерін анықтауға болады екен. Бірлік кері әсерлердің (коэффициенттердің) серіппемен сұйықтың табиғатына қатысты параметрлерге тәуелді болатыны ақиқат. Қорытқы әсерлерді осындай модельде анықтау тек Гук және Архимед күштеріне ғана қатысты деп ойламау керек, бұл механизм физика ғылымының кез-келген бөлімінде кеңінен қолданыс тапқан пропорциялық әдіс болып табылады.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Арнольд В. И. Гюйгенс и Барроу, Ньютон и Гук. М., Наука, 1989 г., 96 с.
- 2 Боголюбов А. Н. Гук Роберт // Математики. Механики. Биографический справочник. – Киев: Наукова думка, 1983. – 639 с.
- 3 Родригес, Энрике Грасиан. В поисках формы. Гук. Закон Гука // Наука. Величайшие теории. – М.: Де Агостини, 2015. – Вып. 40.
- 4 Эугенио М., Фернандес А. Архимед. Закон Архимеда. Де Агостини, 2015.–236 с.
- 5 Адлер Д.А. По закону Архимеда. Махаон, 2020.–32 с.
- 6 Netz Reviel, Saito Ken, Tchernetska Natalie. A New Reading of Method Proposition 14: Preliminary Evidence from the Archimedes Palimpsest (Part 1) // Sciamus. – 2001. – Vol. 2. – P. 9 – 29.
- 7 Batchelor G.K. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University. –2000. 631 pp.
- 8 Снопов А.И. О законе Архимеда. // УСО, 2010. № 9, с. 215 – 218.

REFERENCES

- 1 Arnold V.I. Huygens and Barrow, Newton and Hooke. M., Nauka, 1989 y., 96 p.
- 2 Bogolyubov A. N. Hooke Robert // Mathematics, Mechanics Biographical directory. Kiev: Naukova dumka, 1983. – 639 p.
- 3 Rodriguez, Enrique Gracian. In search of a form.Hooke. Hooke’s Law // The science. The greatest theories. – М.: De Agostini, 2015. – Issue. 40.
- 4 Eugenio M., Fernandez A. Archimedes. Archimedes’ law. De Agostini, 2015.–236 p.
- 5 Adler D.A. According to Archimedes’ law. Makhaon, 2020.–32 p.
- 6 Netz Reviel, Saito Ken, Tchernetska Natalie. A New Reading of Method Proposition 14: Preliminary Evidence from the Archimedes Palimpsest (Part 1) // Sciamus. – 2001. –Vol. 2. – P. 9 – 29.
- 7 Batchelor G.K. An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University. –2000. 631 pp.
- 8 Snopov A.I. About the law of Archimedes. // USO, 2010. № 9, pp. 215 – 218.

Т. Б. КОШТЫБАЕВ¹, Ш. А. АЛИЕВ², Т. Б. ДИКАМБАЙ³, М. Е. АЛИЕВА³

¹Казахский национальный женский педагогический университет,
Алматы, Казахстан;

²Кыргызский государственный университет имени И. Арабаева,
Бишкек, Кыргызстан;

³Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ ЗАКОНОВ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ И ГИДРОСТАТИКИ

Согласно третьему закону Ньютона в природе действие одного тела на другое порождает противодействие. Это наилучшим образом проявляется в законах упругой деформаций и гидростатики, которые не схожи по своей природе, но идентичны по математическому механизму. В статье показано сравнительный и идентичный подход получения выражений силы упругой деформаций и Архимедовой силы. Суммарные значения противодействующих сил определены через значения сил, возникающих при упругой деформации единицы длины пружины и вытеснения жидкости единичного объема. Оценены значимости коэффициентов упругих деформаций и гидростатики и их зависимость от физических свойств пружины и жидкости.

Ключевые слова: деформация, механическое напряжение, плотность, жидкость, вес, гидростатика, пружина.

KOSHTYBAYEV T.¹, ALIYEV S.², DIKAMBAI T.³, ALIYEVA M.³

¹ Kazakh National Women's Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

² Kyrgyz State University named after I. Arabaev, Bishkek, Kyrgyzstan

³ Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

MATHEMATICAL IDENTITY OF THE LAWS OF ELASTIC DEFORMATIONS AND HYDROSTATICS

According to Newton's third law, in nature, the action of one body on another generates a reaction. This is best manifested by the laws of elastic deformation and hydrostatics, which are not similar in nature, but identical in mathematical mechanism. The article shows a comparative and identical approach to obtaining expressions of elastic deformation force and Archimedean force. The total values of the counteracting forces are determined through the values of the forces arising from the elastic deformation of the unit length of the spring and the displacement of a liquid of a single volume. The significance of the coefficients of elastic deformations and hydrostatics and their dependence on the physical properties of the spring and fluid are estimated.

Key words: deformation, mechanical stress, density, fluid, weight, hydrostatics, spring.

Ж. О. ОТАРБАЕВ^{1*}, С. Р. ГИРНИС², К. Т. МАҚАШЕВ², В. Т. СТАНЕВИЧ²

¹ ҚР Ұлттық инженерлік академиясы, Алматы, Қазақстан;

²Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

E-mail: lotarbayeva@gmail.com, girnis@mail.ru,

makashevkuanysh10@gmail.com, svt_18@mail.ru

ҚОЗҒАЛМАЛЫ МЕРЗІМДІ ЖҮКТЕМЕ ӘСЕРІНЕН СЕРПІМДІ МАССИВТЕГІ КӨП ҚАБАТТЫ ҚАБЫҚТЫҢ ДИНАМИКАСЫ

Жүктеме осі бойымен біркелкі қозғалатын шексіз ұзын көп қабатты дөңселек цилиндрлік қабықтың ішкі бетіне әсер ету мәселесі шешілді. Қабыққа әсер ететін жүктеме қабықтың осі бойынша мерзімді болады. Қабық жүктемемен байланысты жылжымалы координаттар жүйесінде қарастырылатын серпімді кеңістікте (ортада) орналасқан. Қабық массиві мен қабаттардың қозғалысы Ламе потенциалдарындағы серпімділік теориясының динамикалық теңдеулерімен сипатталады. Есепті шешу үшін айнымалыларды толық емес бөлу әдісі қолданылады. Потенциалдар Фурье – Бессель қатарлары түрінде ұсынылады, олардың белгісіз коэффициенттері шекаралық шарттардан табылады. Біздің тәсілдеме қатпарлы қабаттарға арналған басқа жұмыстардан ерекшеленеді, мұнда мәселені шешу кезінде қабықтың жеке қабаттарының қозғалысын сипаттау үшін қабықтардың классикалық теориясының жуықталған теңдеулері қолданылады. Біз мәселенің нақты шешімін тауып алдық. Бұл шешімді қолдану кезінде әртүрлі жылдамдықтарында біркелкі қозғалатын оссимметриялық қалыпты синусоидалы жүктемесі әсер еткен кезде тау-жыныс массивінің біртекті бетон қабығын қоршап тұрған кернеулі-деформацияланған күйі (ҚДК) зерттелді. Есептеу нәтижелерін талдаудан жүктеме жылдамдығының жоғарылауымен максималды радиалды қозғалыстардың, максималды осьтік және тангенциалды қалыпты кернеулердің, қабықпен бекітілген қуыстың беткі нүктелерінде пайда болатын және ең жоғары қысымды сезінетін мәндердің жоғарылауы байқалады. Қуыс бетінен алыстаған кезде қозғалатын жүктеменің ортаға динамикалық әсер ету салдары азаяды.

Түйін сөздер: серпімді кеңістік, массив, цилиндрлік қабық, тоннель, құбыржелісі, жылжымалы мерзімді жүктеме, жылдамдық, орын ауыстыру, кернеулер.

Кіріспе. Көлік тоннельдері, магистральдық газ құбырлары және мұнай құбырлары сияқты жерасты құрылыстарын пайдалану тәжірибесі көлік жүктемелерінің динамикалық әсерімен оларда пайда болатын тербелістердің салдарынан болатын көптеген зақымдар мен бұзылуларды көрсетеді (осы құрылыстарда қозғалатын объектілер тудыратын жүктемелер). Жүктемелердің қозғалыс жылдамдығы артқан кезде діріл деңгейі артады және осы құрылымдар үшін белгіленген рұқсат етілген нормалардан асып кетуі мүмкін. Сондықтан, соңғы жылдары жерасты құрылыстарына әсер ететін көлік жүктемелері жылдамдығының өсуіне байланысты (атап айтқанда, атап айтқанда, тоннельдер ішінде қозғалатын көліктің жүктемелері), осы жүктемелердің әсерінен олардың динамикалық күй-өзгерісін зерттеу өзекті болып отыр.

Қабықпен нығайтылған тоннельдер мен терең төселген жерасты магистральдік құбыр желілерін көлік жүктемесінің әсеріне динамикалық есептеу кезінде, әдетте, оның ішкі беті бойымен біркелкі қозғалатын серпімді шексіз ортада (серпімді

* E-mail корреспондирующего автора: lotarbayeva@gmail.com

кеңістікте) орналасқан жүктеменің біртекті дөңгелек цилиндрлік қабығына әсер ету туралы модельдік міндеттер қарастырылады [1].

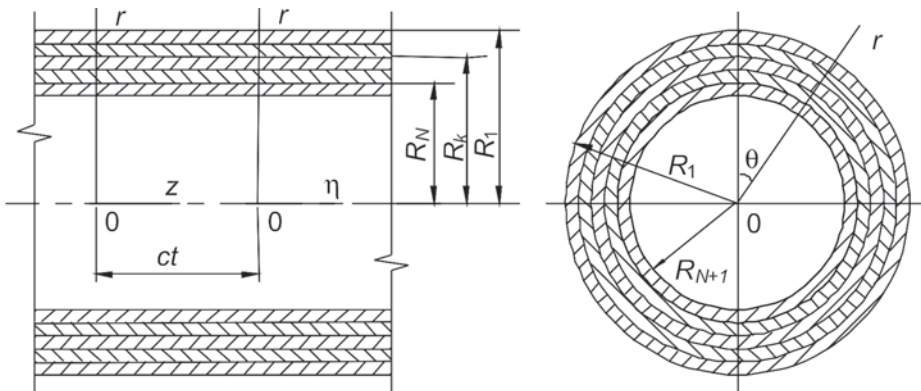
Алайда, мұндай модельді қолдану қабықтың қабатты құрылымы жағдайында шектеулі болуы мүмкін.

Жылжымалы жүктеме әсерінен бос қабатты (екі қабатты және үш қабатты) қабықтың динамикасы [2 – 4] мақалаларында зерттелген. Серпімді кеңістіктегі қабыққа ұқсас зерттеулер [5 – 7] еңбектерінде жүргізілген. Бұл еңбектерде қабықтың жеке (жұқа) қабаттарының қозғалысын сипаттау үшін, [1] - дегі қабық сияқты, классикалық қабық теориясының теңдеулері қолданылды.

Бұл еңбекте көп қабатты дөңгелек цилиндрлік қабықты және оны қоршаған шексіз серпімді ортаны динамикалық есептеу мәселесі шешілді. Қабықтың ішкі бетін біркелкі кесіп өтетін мезгілімен қозғалатын жүктің оның ішкі беті бойымен біркелкі қозғалатын қабықтың осі бойынша кезеңдік жүктеменің әсеріне салдары зерттеледі. [5 – 7] - тен айырмашылығы, есепті шешуде қарастырылып отырған қабықтың жеке қабаттарының қозғалысын сипаттау үшін классикалық қабық теориясының жуықталған теңдеулері қолданылмайды.

Әдістер. Есепті шешуде айнымалыларды толық емес бөлу әдісі қолданылады.

Есептің қойылуы және шешілуі. Қозғалмайтын цилиндрлік r, θ, z координаттар жүйесінде 1-суретте көрсетілген бір-бірімен тығыз байланысқан N қабаттардан тұратын шексіз ұзын дөңгелек цилиндрлік қабықты қарастырайық. Қабық сызықты серпімді, біртекті және изотропты кеңістікте (массивте) орналасқан. Массивпен жанасатын қабатқа реттік нөмір 2 бере отырып, қабық қабаттарын нөмірлейміз. Массив материалы мен қабық қабаттарының физикалық-механикалық қасиеттері келесі тұрақтылармен сипатталады: ν_k, μ_k, ρ_k ($k = 1, 2, 3, \dots, N + 1$), где ν_k – Пуассон коэффициенті, $\mu_k = E_k / 2(1 + \nu_k)$ – ығысу модулі, ρ_k – тығыздығы, E_k – серпімділік модулі. Мұнда және әрі қарай $k = 1$ индексі массивке жатқызылады, ал $k = 2, 3, \dots, N + 1$ – қабық қабаттарына жатқызылады.



1-сурет – Серпімді кеңістіктегі көп қабатты қабық

Қабықтың ішкі бетіне z -ось бағытында тұрақты жылдамдықпен қозғалатын (массив пен қабық қабаттарындағы ығысу толқындарының таралу жылдамдығынан кем)

жүктеме әсер етеді. Тұрақты процесс қарастырылғандықтан, жүктемемен байланысты жылжымалы цилиндрлік $(r, \theta, \eta = z - ct)$ координаттар жүйесіне ауысуға болады.

η осі бойынша мезгілді және θ бұрыштық координатаға ерікті тәуелділікпен синусоидалы жүктеме түрінде ұсынылатын қабыққа $P(\theta, \eta)$ қозғалмалы жүктеме қарқындылығының әсер ету жағдайын қарастырамыз.

$$P(\theta, \eta) = p(\theta)e^{i\xi\eta}, \quad p(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_n e^{in\theta},$$

$$P_j(\theta, \eta) = p_j(\theta)e^{i\xi\eta}, \quad p_j(\theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} P_{nj} e^{in\theta}, \quad j = r, \theta, \eta, \quad (1)$$

мұнда $P_j(\theta, \eta) - P(\theta, \eta) -$ жүктеме қарқындылығының құраушысы.

Қозғалысты сипаттау үшін жылжымалы координаттар жүйесіндегі серпімділік теориясының динамикалық теңдеулерін қолдана отырып, қабық массиві мен қабаттарының КДК-ін анықтаймыз [8]

$$(M_{pk}^{-2} - M_{sk}^{-2}) \text{grad div } \mathbf{u}_k + M_{sk}^{-2} \Delta \mathbf{u}_k = \partial^2 \mathbf{u}_k / \partial \eta^2, \quad k = 1, 2, \dots, N + 1 \quad (2)$$

мұнда, $M_{pk} = c / c_{pk}$, $M_{sk} = c / c_{sk}$ – Мах сандары, $c_{pk} = \sqrt{(\lambda_k + 2\mu_k) / \rho_k}$, $c_{sk} = \sqrt{\mu_k / \rho_k}$

– $(k = 1)$ массивте және $(k = 2, 3, \dots, N + 1)$, $\lambda_k = 2\mu_k \nu_k / (1 - 2\nu_k)$ қабық қабаттарында кеңею-қысу және ығысу толқындарының таралу жылдамдығы, Δ – Лаплас операторы, \mathbf{u}_k – массив пен қабық қабаттар нүктелерінің ығысу векторы.

$\mathbf{u}_k = \varphi_{jk}$ ($j = 1, 2, 3$) Ламе потенциалдары арқылы көрсете отырып [9]

$$\mathbf{u}_k = \text{grad } \varphi_{1k} + \text{rot}(\varphi_{2k} \mathbf{e}_\eta) + \text{rot rot}(\varphi_{3k} \mathbf{e}_\eta), \quad k = 1, 2, \dots, N + 1, \quad (3)$$

(2)-ні келесі түріне келтіреміз:

$$\Delta \varphi_{jk} = M_{jk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{jk}}{\partial \eta^2}, \quad j = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, \dots, N + 1, \quad (4)$$

мұнда, $\mathbf{e}_\eta - \eta -$ осінің орты, $M_{1k} = M_{pk}$, $M_{2k} = M_{3k} = M_{sk}$.

$(k = 1)$ массивтің КДК және и $(k = 2, 3, \dots, N + 1)$ қабық қабаттарының компоненттерін φ_{jk} потенциалдары арқылы көрсетеміз.

\mathbf{u}_k векторының компоненттері (3):

$$u_{rk} = \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta \partial r}, \quad u_{\theta k} = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial \theta} - \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta \partial \theta}, \quad u_{\eta k} = \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial \eta} + m_{sk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta^2}, \quad (5)$$

мұнда $m_{sk}^2 = 1 - M_{sk}^2 > 0$.

Гук заңы мен (5) арақатынасын қолдана отырып, біз кернеу тензорының құрамдас бөлігі үшін өрнектер шығарамыз:

$$\begin{aligned} \sigma_{\eta\eta k} &= (2\mu_k + \lambda_k M_{pk}^2) \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta^2} + 2\mu_k m_{sk}^2 \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \eta^3}, \\ \sigma_{\theta\theta k} &= \lambda_k M_{pk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta^2} + \frac{2\mu_k}{r} \left(\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \theta^2} + \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial \theta} - \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial r \partial \theta} + \frac{1}{r} \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \theta^2 \partial \eta} + \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial r \partial \eta} \right), \\ \sigma_{rrk} &= \lambda_k M_{pk}^2 \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta^2} + 2\mu_k \left(\frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial \theta \partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \varphi_{2k}}{\partial \theta} + \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial r^2 \partial \eta} \right), \\ \sigma_{r\eta k} &= \mu_k \left(2 \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \eta \partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial \theta \partial \eta} + (1 + m_{sk}^2) \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \eta^2 \partial r} \right), \\ \sigma_{\eta\theta k} &= \mu_k \left(\frac{2}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \theta \partial \eta} - \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial r \partial \eta} + \frac{(1 + m_{sk}^2)}{r} \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial \theta \partial \eta^2} \right), \\ \sigma_{r\theta k} &= 2\mu_k \left(\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \varphi_{1k}}{\partial \theta \partial r} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \varphi_{1k}}{\partial \theta} - \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial r^2} - \frac{m_{sk}^2}{2} \frac{\partial^2 \varphi_{2k}}{\partial \eta^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial^3 \varphi_{3k}}{\partial r \partial \eta \partial \theta} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi_{3k}}{\partial \eta \partial \theta} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Қабықтың массивпен байланысының екі түрін қарастырамыз: жылжымалы және қатты. Содан кейін, қабықтың массивпен сырғанау контактісі үшін:

$$\begin{aligned} r = R_1 \text{-де} \quad u_{r1} = u_{r2}, \quad \sigma_{rr1} = \sigma_{rr2}, \quad \sigma_{r\eta 1} = 0, \quad \sigma_{r\theta 1} = 0, \quad \sigma_{r\eta 2} = 0, \quad \sigma_{r\theta 2} = 0, \\ r = R_k \text{-де} \quad u_{jk} = u_{jk+1}, \quad \sigma_{rjk} = \sigma_{rjk+1}, \end{aligned} \quad (7)$$

$$r = R_{N+1} \text{-де} \quad \sigma_{rjN+1} = P_j(\theta, \eta), \quad j = r, \theta, \eta, \quad k = 2, 3, \dots, N.$$

Қабықтың массивпен қатты контактісі үшін:

$$r = R_k \text{-де} \quad u_{jk} = u_{jk+1}, \quad \sigma_{rjk} = \sigma_{rjk+1},$$

$$r = R_{N+1} \text{-де} \quad \sigma_{rjN+1} = P_j(\theta, \eta), \quad j = r, \theta, \eta, \quad k = 1, 2, \dots, N. \quad (8)$$

φ_{jk} потенциалдарын (1)-ге тәріздес түрінде шығарамыз:

$$\varphi_{jk}(r, \theta, \eta) = \Phi_{jk}(r, \theta) e^{i\xi \eta}. \quad (9)$$

(9)-ды (4)-ке алмастырып, шығарамыз

$$\Delta_2 \Phi_{jk} - m_{jk}^2 \xi^2 \Phi_{jk} = 0, \quad j = 1, 2, 3, \quad k = 1, 2, \dots, N+1, \quad (10)$$

мұнда Δ_2 – қосөлшемді Лаплас операторы, $m_{jk}^2 = 1 - M_{jk}^2$, $m_{1k} \equiv m_{pk}$, $m_{2k} = m_{3k} \equiv m_{sk}$.

Жүктеменің $M_{sk} < 1$ ($m_{sk} > 0$) дыбыстан төмен жылдамдықпен қозғалуы кезінде (10) тендеулердің шешімдерін келесі түрде ұсынуға болады:

- массив үшін:

$$\Phi_{j1} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_{nj} K_n(k_{j1} r) e^{in\theta}, \quad (11)$$

- кабық қабаттары үшін:

$$\Phi_{jk} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} (a_{nj+3(2k-3)} K_n(k_{jk}r) + a_{nj+6(k-1)} I_n(k_{jk}r)) e^{in\theta}, \quad k = 2, 3, \dots, N+1. \quad (12)$$

Мұнда: $I_n(kr), K_n(kr)$ – тиісті модификацияланған Бессель функциялары мен Макдональд функциялары, $k_{j1} = |m_{j1}\xi|$, $k_{jk} = |m_{jk}\xi|$, $j = 1, 2, 3$; $a_{n1}, \dots, a_{n(6N+3)}$ – белгіленуіге жататын белгісіз коэффициенттері.

(11)-ді (9) бен (5), (6) ескере отырып, біз массивтің ҚДК компонентін есептеу формулаларын шығарамыз:

$$u_{l1} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 T_{lj1} (K_n(k_{j1}r)) e^{i(\xi\eta+n\theta)} a_{nj}, \quad \frac{\sigma_{lm1}}{\mu_1} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 S_{lmj1} (K_n(k_{j1}r)) e^{i(\xi\eta+n\theta)} a_{nj},$$

мұнда $l = r, \theta, \eta$, $m = r, \theta, \eta$;

$$T_{r11} = k_{11} K'_n(k_{11}r), \quad T_{r21} = -\frac{n}{r} K_n(k_{21}r), \quad T_{r31} = -\xi k_{31} K'_n(k_{31}r),$$

$$T_{\theta11} = \frac{n}{r} K_n(k_{11}r)i, \quad T_{\theta21} = -k_{21} K'_n(k_{21}r)i, \quad T_{\theta31} = -\frac{n}{r} \xi K_n(k_{31}r)i,$$

$$T_{\eta11} = \xi K_n(k_{11}r)i, \quad T_{\eta21} = 0, \quad T_{\eta31} = -k_{31}^2 K_n(k_{31}r)i,$$

$$S_{rr11} = 2 \left(k_{11}^2 + \frac{n^2}{r^2} - \frac{\lambda_1 M_{p1}^2 \xi^2}{2\mu_1} \right) K_n(k_{11}r) - \frac{2k_{11} K'_n(k_{11}r)}{r},$$

$$S_{rr21} = \frac{2n}{r^2} K_n(k_{21}r) - \frac{2k_{21} K'_n(k_{21}r)}{r},$$

$$S_{rr31} = -2\xi \left(k_{31}^2 + \frac{n^2}{r^2} \right) K_n(k_{31}r) + \frac{2\xi k_{31} K'_n(k_{31}r)}{r},$$

$$S_{\theta\theta11} = -2 \left(\frac{n^2}{r^2} + \frac{\lambda_1 M_{p1}^2 \xi^2}{2\mu_1} \right) K_n(k_{11}r) + \frac{2k_{11} K'_n(k_{11}r)}{r},$$

$$S_{\theta\theta21} = -\frac{2n K_n(k_{21}r)}{r^2} + \frac{2n k_{21} K'_n(k_{21}r)}{r},$$

$$S_{\theta\theta31} = \frac{2\xi n^2 K_n(k_{31}r)}{r^2} - \frac{2\xi k_{31} K'_n(k_{31}r)}{r},$$

$$S_{\eta\eta11} = -2\xi^2 \left(\frac{1 + \lambda_1 M_{p1}^2}{2\mu_1} \right) K_n(k_{11}r), \quad S_{\eta\eta21}^{(1)} = 0, \quad S_{\eta\eta31}^{(1)} = 2m_{31}^2 \xi^3 K_n(k_{31}r),$$

$$S_{r\theta 11} = \left(-\frac{2nK_n(k_{11}r)}{r^2} + \frac{2nk_{11}K'_n(k_{11}r)}{r} \right) i, \quad S_{r\theta 21} = \left(-\left(k_{21}^2 + \frac{2n^2}{r^2} \right) K_n(k_{21}r) + \frac{2k_{21}K'_n(k_{21}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{r\theta 31} = \left(\frac{2n\xi K_n(k_{31}r)}{r^2} - \frac{2n\xi k_{31}K'_n(k_{31}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{0\eta 11} = -\frac{2n\xi K_n(k_{11}r)}{r}, \quad S_{0\eta 21} = \xi k_{21}K'_n(k_{21}r), \quad S_{0\eta 31} = \frac{n\xi^2(1+m_{31}^2)K_n(k_{31}r)}{r},$$

$$S_{r\eta 11} = 2\xi k_{11}K'_n(k_{11}r)i, \quad S_{r\eta 21} = -\frac{\xi nK_n(k_{21}r)i}{r}, \quad S_{r\eta 31} = -\xi^2 k_{31}(1+m_{31}^2)K'_n(k_{31}r)i; \quad K'_n(k_{j1}r) = \frac{dK_n(k_{j1}r)}{d(k_{j1}r)}.$$

Сол сияқты (12)-сін (5), (6)-ға алмастыра отырып, қабық қабаттарының КДК компонентін есептеу формулаларын шығарамыз:

$$u_{lk} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 \left[T_{lj}^{(1)}(K_n(k_{jk}r)) a_{nj+3(2k-3)} + T_{lj}^{(2)}(I_n(k_{jk}r)) a_{nj+6(k-1)} \right] e^{i(\xi\eta+n\theta)},$$

$$\frac{\sigma_{lmk}}{\mu_k} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{j=1}^3 \left[S_{lmjk}^{(1)}(K_n(k_{jk}r)) a_{nj+3(2k-3)} + S_{lmjk}^{(2)}(I_n(k_{jk}r)) a_{nj+6(k-1)} \right] e^{i(\xi\eta+n\theta)}.$$

мұнда $l = r, \theta, \eta, \quad m = r, \theta, \eta, \quad k = 2, 3, \dots, N+1;$

$$T_{r1k}^{(1)} = k_{1k}K'_n(k_{1k}r), \quad T_{r2k}^{(1)} = -\frac{n}{r}K_n(k_{2k}r), \quad T_{r3k}^{(1)} = -\xi k_{3k}K'_n(k_{3k}r),$$

$$T_{\theta 1k}^{(1)} = \frac{n}{r}K_n(k_{1k}r)i, \quad T_{\theta 2k}^{(1)} = -k_{2k}K'_n(k_{2k}r)i, \quad T_{\theta 3k}^{(1)} = -\frac{n}{r}\xi K_n(k_{3k}r)i,$$

$$T_{\eta 1k}^{(1)} = \xi K_n(k_{1k}r)i, \quad T_{\eta 2k}^{(1)} = 0, \quad T_{\eta 3k}^{(1)} = -k_{3k}^2 K_n(k_{3k}r)i,$$

$$S_{rr1k}^{(1)} = 2 \left(k_{1k}^2 + \frac{n^2}{r^2} - \frac{\lambda_k M_{pk}^2 \xi^2}{2\mu_k} \right) K_n(k_{1k}r) - \frac{2k_{1k}K'_n(k_{1k}r)}{r}, \quad S_{rr2k}^{(1)} = \frac{2n}{r^2} K_n(k_{2k}r) - \frac{2k_{2k}K'_n(k_{2k}r)}{r},$$

$$S_{rr3k}^{(1)} = -2\xi \left(k_{3k}^2 + \frac{n^2}{r^2} \right) K_n(k_{3k}r) + \frac{2\xi k_{3k}K'_n(k_{3k}r)}{r},$$

$$S_{\eta\eta 1k}^{(1)} = -2\xi^2 \left(\frac{1 + \lambda_k M_{pk}^2}{2\mu_k} \right) K_n(k_{1k}r), \quad S_{\eta\eta 2k}^{(1)} = 0, \quad S_{\eta\eta 3k}^{(1)} = 2m_{3k}^2 \xi^3 K_n(k_{3k}r),$$

$$S_{r\theta 1k}^{(1)} = \left(-\frac{2nK_n(k_{1k}r)}{r^2} + \frac{2nk_{1k}K'_n(k_{1k}r)}{r} \right) i, \quad S_{r\theta 2k}^{(1)} = \left(-\left(k_{2k}^2 + \frac{2n^2}{r^2} \right) K_n(k_{2k}r) + \frac{2k_{2k}K'_n(k_{2k}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{r\theta 3k}^{(1)} = \left(\frac{2n\xi K_n(k_{3k}r)}{r^2} - \frac{2n\xi k_{3k}K'_n(k_{3k}r)}{r} \right) i,$$

$$S_{\theta_{1k}}^{(1)} = -\frac{2n\xi K_n(k_{1k}r)}{r}, \quad S_{\theta_{12k}}^{(1)} = \xi k_{2k} K_n'(k_{2k}r), \quad S_{\theta_{13k}}^{(1)} = \frac{n\xi^2(1+m_{3k}^2)K_n(k_{3k}r)}{r},$$

$$S_{r_{1k}}^{(1)} = 2\xi k_{1k} K_n'(k_{1k}r)i, \quad S_{r_{12k}}^{(1)} = -\frac{\xi n K_n(k_{2k}r)i}{r}, \quad S_{r_{13k}}^{(1)} = -\xi^2 k_{3k}(1+m_{3k}^2)K_n'(k_{3k}r)i;$$

$$K_n'(k_{jk}r) = \frac{dK_n(k_{jk}r)}{d(k_{jk}r)}; \quad T_{ljk}^{(2)}, \quad S_{lmjk}^{(2)} \quad K_n\text{-ді } I_n\text{-ге ауыстырумен } T_{ljk}^{(1)}, \quad S_{lmjk}^{(1)} \text{ шығарылады.}$$

(7) немесе (8) сәйкес өрнектерді алмастырып, $e^{in\theta}$ -дегі қатарлардың коэффициенттерін теңестіре отырып, біз $a_{n1}, \dots, a_{n(6N+3)}$ коэффициенттерін табатын сызықтық алгебралық теңдеулердің шексіз жүйесін шығарамыз.

Ерікті кезеңдік жүктеме болған жағдайда, оны Фурье қатарына ыдыратып, қатардың әрбір құрамдас бөлігі үшін біз жоғарыда қарастырылған есепті шығара аламыз.

Нәтижелер және талқылау. Мысал ретінде, $\nu_1 = 0,25$, $\mu_1 = 4,0 \cdot 10^9$ Па, $\rho_1 = 2,6 \cdot 10^3$ кг/м³; $c_{s1} = 1240,35$ м/с сипаттамалары бар таужыныс массивінде үлкен тереңдікте орналасқан беттер радиустары $R_1 = 1,1$ м, $R_2 = 1$ м бетонды бір қабатты ($\nu_2 = 0,2$, $\mu_2 = 1,21 \cdot 10^{10}$ Па, $\rho_2 = 2,5 \cdot 10^3$ кг/м³; $c_{s2} = 2200$ м/с) цилиндрлік қабатты қарастырамыз. Тұрақты с жылдамдығымен қабықтың ішкі бетінде қозғалмалы координаттар жүйесінің басында қабықтың ішкі бетіне ең көп қысым жасайтын P_A амплитудасы бар осимметриялық қалыпты синусоидалы ($T = 2\pi$ м) жүктеме қозғалады ($\eta = 0$). Қабықтың массивпен байланысы қатты деп санаймыз.

1-кестеде жүктеменің әртүрлі қозғалыс жылдамдықта $\eta = 0$ жазықтағы массивтың ҚДК компонентінің сандық мәндері келтірілген.

1-кесте – $\eta = 0$ жазықтағы массивтың ҚДК компонентінің сандық мәндері

c, м/с	$u_{r1}^\circ, \text{ м}$		$\sigma_{\eta\eta1}^\circ$		$\sigma_{\theta\theta1}^\circ$	
	r/R_1		r/R_1		r/R_1	
	1,0	4,0	1,0	4,0	1,0	4,0
200	0,29	0,01	- 0,29	0,01	0,40	0,0
800	0,33	0,03	- 0,34	0,02	0,48	0,01

Кестеден жүктеме жылдамдығының жоғарылауымен массивтің ҚДК компонентінің мәндері ең жоғары қысымға ұшырайтын қабықпен бекітілген қуыстың беткі нүктелерінде жоғарлайды (бұл нүктелерде u_{r1} радиалды қозғалыстар, осьтік $|\sigma_{\eta\eta1}|$ және тангенциалды $\sigma_{\theta\theta1}$ қалыпты кернеулер максималды мәндерге ие). Қуыс бетінен алыстаған кезде қозғалатын жүктеменің массивке динамикалық әсер ету салдары төмендейді және осында қарастырылған $r/R_1 = 4,0$ кезінде жүктеме қозғалысының кез келген жылдамдығында айтарлықтай төмен маңызды болады.

Қорытынды. Қатаң математикалық [5–7] қойылымда және осыған ұқсас жұмыстардан айырмашылығы, серпімді кеңістіктегі дөңгелек цилиндрлік көп қабатты

қабыққа жылжымалы мезгілдік жүктеменің әсері туралы есептің аналитикалық шешімі шығарылды. Өзірленген есептеу әдістемесін тоннельдің қабатты (ерекше жағдайда, біртекті) қабығымен нығайтылған, сондай-ақ қабық (құбыржелісі) осі бойынша кезенді көлік жүктемелерінің әрекеті кезінде терең тұйықталған жерасты құбыржелісінің (қабатты немесе біртекті құрылымның) динамикалық күй-өзгерісін зерттеу кезінде қолдану үшін ұсынылады. Атап айтқанда, магистральдық жерасты мұнай құбыржелілерінің немесе газ құбыржелілерінің динамикасын зерттеу кезінде, онда жұмыс істеп тұрған сорғылардан немесе компрессорлардан импульсивті мерзімді бұзылулардың әсерінен ағындағы дыбыс қозғалысының жылдамдығымен таралатын қысымның мерзімді толқыны орнатылады. Шығарылған шешімді пайдалану кезінде таужыныс массивінің бір қабатты бетон қабығының КДК-сі оның әртүрлі жылдамдықтарында біркелкі қозғалатын оссимметриялық қалыпты синусоидалы жүктеме әсер еткенде зерттелді. Есептеу нәтижелерін талдаудан жүктеме жылдамдығының жоғарылауымен массивтің КДК компонентінің мәндері ең жоғары қысымға ұшырайтын қабықпен бекітілген қуыстың беткі нүктелерінде жоғарлайтыны (бұл нүктелерде u_r радиалды қозғалыстар, осьтік $|\sigma_{\eta\eta}|$ және тангенциалды $\sigma_{\theta\theta}$ қалыпты кернеулер максималды мәндерге ие) ілеседі. Қуыс бетінен алыстаған кезде қозғалатын жүктеменің массивке динамикалық әсер ету салдары төмендейді және осында қарастырылған $r/R_1 = 4,0$ кезінде жүктеме қозғалысының кез келген жылдамдығында айтарлықтай төмен маңызды болады. Осылайша, массивтің қоршаған динамикалық белсенді қабатының қалыңдығы қабықтың сыртқы бетінің үш радиусын құрайды. Яғни, тоннельдің $h \geq 4R_1$ орналасу тереңдігінде (мұндағы h – қабық осінен оған параллельді жер бетіне дейінгі қашықтық) оның есептік схемасын осы еңбекте сияқты серпімді кеңістікте орналасқан қабық түрінде қабылдауға болады.

ӘДЕБИЕТ

- 1 Пожуев В.И. Действие подвижной нагрузки на цилиндрическую оболочку в упругой среде // Строительная механика и расчет сооружений. – 1978. – № 1. – С. 44-48.
- 2 Пожуев В.И. Реакция цилиндрической оболочки с заполнителем на действие неосесимметричной подвижной нагрузки // Изв. АН СССР. МТТ. – 1978. – № 5. – С. 106-112.
- 3 Пожуев В.И. Влияние жесткости амортизирующего слоя на реакцию цилиндрической оболочки при движении осесимметричной нагрузки // Прикл. механика. – Киев, 1977. – Т. 13, № 9. – С. 33-39.
- 4 Пожуев В.И. Реакция трехслойной цилиндрической оболочки на действие подвижной нагрузки // Прикл. механика. – Киев, 1980. – Т. 16, № 1. – С. 32-39.
- 5 Украинаец В.Н. Численное исследование динамического поведения перегонного тоннеля метрополитена при действии транспортной нагрузки // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2016. – № 4. – С. 81-87.
- 6 Girnis S.R. Action of Moving Load on a Two-Layer Shell in Elastic Medium // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems. – Springer, Cham., 2023. – Vol. 574. – Pp. 2301-2311.
- 7 Отарбаев Ж.О. Влияние скорости бегущей в подкрепленном трехслойной оболочкой тоннеле периодической нагрузки на реакцию окружающего массива // Вестник Национальной инженерной академии РК. – 2018. – № 3. – С. 64-72.

8 Ержанов Ж.С., Айталиев Ш.М., Алексеева Л.А. Динамика тоннелей и подземных трубопроводов. – Алма-Ата : Наука, 1989. – 240 с.

9 Новацкий В. Теория упругости. – М. : Мир, 1975. – 872 с.

REFERENCES

1 Pozhuev V.I. Dejstvie podvizhnoj nagruzki na tsilindricheskuyu obolochku v uprugoj srede // Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzhenij. – 1978. – № 1. – S. 44-48.

2 Pozhuev V.I. Reaktsiya tsilindricheskoj obolochki s zapolnitelem na dejstvie neosesimmetrichnoj podvizhnoj nagruzki // Izv. AN SSSR. MTT. – 1978. – № 5. – S. 106-112.

3 Pozhuev V.I. Vliyanie zhestkosti amortiziruyushchego sloya na reaktsiyu tsilindricheskoj obolochki pri dvizhenii osesimmetrichnoj nagruzki // Prikl. mekhanika. – Kiev, 1977. – T. 13, № 9. – S. 33-39.

4 Pozhuev V.I. Reaktsiya trekhslojnoj tsilindricheskoj obolochki na dejstvie podvizhnoj nagruzki // Prikl. mekhanika. – Kiev, 1980. – T. 16, № 1. – S. 32-39.

5 Ukrainets V.N. Chislennoe issledovanie dinamicheskogo povedeniya peregonnogo tonnelya metropolitena pri dejstvii transportnoj nagruzki // Vestnik Natsionalnoj inzhenernoj akademii RK. – 2016. – № 4. – S. 81-87.

6 Girmis S.R. Action of Moving Load on a Two-Layer Shell in Elastic Medium // XV International Scientific Conference “INTERAGROMASH 2022”. Lecture Notes in Networks and Systems. – Springer, Cham., 2023. – Vol. 574. – Pp. 2301-2311.

7 Otarbaev ZH.O. Vliyanie skorosti begushchej v podkreplennom trekhslojnoj obdelkoj tonnelle periodicheskoj nagruzki na reaktsiyu okruzhayushchego massiva // Vestnik Natsionalnoj inzhenernoj akademii RK. – 2018. – № 3. – S. 64-72.

8 Erzhanov ZH.S., Ajtaliev SH.M., Alekseeva L.A. Dinamika tonnelej i podzemnykh truboprovodov. – Alma-Ata : Nauka, 1989. – 240 s.

9 Novatskij V. Teoriya uprugosti. – М. : Мир, 1975. – 872 с.

Ж. О. ОТАРБАЕВ¹, С. Р. ГИРНИС², К. Т. МАКАШЕВ², В. Т. СТАНЕВИЧ²

¹Национальная инженерная академия РК, Алматы, Казахстан;

²Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

ДИНАМИКА МНОГОСЛОЙНОЙ ОБОЛОЧКИ В УПРУГОМ МАССИВЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ДВИЖУЩЕЙСЯ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Решена задача о действии на внутреннюю поверхность бесконечно длинной многослойной круговой цилиндрической оболочки, равномерно движущейся вдоль ее образующей нагрузки, периодической по оси оболочки. Оболочка расположена в упругом пространстве (массиве), рассматриваемом в подвижной системе координат, связанной с нагрузкой. Движение массива и слоев оболочки описывается динамическими уравнениями теории упругости в потенциалах Ламе. Для решения задачи используется метод неполного разделения переменных. Потенциалы представляются в виде рядов Фурье – Бесселя, неизвестные коэффициенты которых находятся из граничных условий. В отличие от подобных работ по слоистым оболочкам, при решении задачи не используются приближенные уравнения классической теории оболочек для описания движения отдельных слоев рассматриваемой оболочки. Поэтому полученное решение значительно точнее. При использовании полученного решения исследовано напряженно-деформированное состояние (НДС) окру-

жаюущего однослойную бетонную оболочку породного массива при действии на нее равномерно движущейся осесимметричной нормальной синусоидальной нагрузки при разных ее скоростях. Из анализа результатов расчетов следует, что с увеличением скорости движения нагрузки значения максимальных радиальных перемещений, максимальных осевых и тангенциальных нормальных напряжений, возникающих в точках поверхности подкрепленной оболочкой полости, испытывающих наибольшее давление, возрастают. С удалением от поверхности полости эффект динамического воздействия движущейся нагрузки на массив снижается.

Ключевые слова: упругое пространство, массив, цилиндрическая оболочка, тоннель, трубопровод, подвижная периодическая нагрузка, скорость, перемещения, напряжения.

ZH. O. OTARBAEV¹, S. R. GIRNIS², K. T. MAKASHEV², V. T. STANEVICH²

¹National Engineering Academy of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan;

²Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

THE DYNAMICS OF A MULTILAYER SHELL IN AN ELASTIC SPACE UNDER THE INFLUENCE OF A MOVING PERIODIC LOAD

The problem of the action on the inner surface of an infinitely long multilayer circular cylindrical shell, uniformly moving along its axis, has been solved. The load acting on the shell is periodic along the axis of the shell. The shell is located in an elastic space (medium) considered in a moving coordinate system linked to the load. The motion of the medium and shell layers is described by the dynamic equations of the theory of elasticity in the Lamé potentials. The method of partial separation of variables is used to solve this problem. The potentials are represented as Fourier-Bessel series, and the unknown coefficients are determined from the boundary conditions. Our approach differs from other studies dedicated to multilayer shells, which rely on approximate equations of classical shell theory to describe the motion of each layer when solving the problem. We have obtained an exact solution to the problem. By utilizing this solution, we examine the stress-strain state (SSS) of the homogeneous concrete shell encompassing a rock mass subjected to a uniformly moving axisymmetric sinusoidal load at various velocities. Analysing the computed outcomes reveals that as the load velocity escalates, the magnitudes of the maximum radial displacements, maximum axial stresses, and maximum tangential normal stresses intensify at the points on the surface of the strengthened shell cavity, enduring the greatest pressure. As the distance from the cavity surface augments, the influence of the dynamic impact caused by the moving load on the medium diminishes.

Key words: elastic space, medium, cylindrical shell, tunnel, pipeline, moving periodic load, displacement, stress.

У. К. ТУРУСБЕКОВА^{1*}, М. Э. БЕРСУГИР²

¹Учреждение «Esil University», Астана, Казахстан,

²Казахский национальный педагогический университет имени Абая,
Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА СИЛЬВЕРА-ПОЛИГА-ХЕЛЛМАНА В ЗАДАЧАХ ДИСКРЕТНОГО ЛОГАРИФМИРОВАНИЯ

В данной работе описана постановка задачи дискретного логарифмирования, которая является важной математической проблемой. Проанализирован алгоритм вычисления дискретного логарифмирования Сильвера-Полига-Хеллмана и указаны его недостатки, возникающие из-за использования чисел специального вида, называемых гладкими. Указана проблема, которая возникает при поиске гладких простых чисел большой разрядности. Процесс поиска таких чисел замедляет алгоритм Сильвера-Полига-Хеллмана, кроме того, неизвестно возможно ли найти гладкие простые числа необходимой разрядности, ведь их количество среди простых чисел чрезвычайно мало, что ставит под вопрос эффективность использования алгоритма. Введено понятие гладкого простого числа, предложена классификация в зависимости от роста подряд расположенных множителей на идеально гладкие и частично гладкие простые числа. Проанализированы первые десять миллионов простых чисел на гладкость, среди которых идеально гладких обнаружено несколько десятков. Показано, что для поиска гладких простых чисел и анализа их свойств необходимо знать, как распределены простые числа в зависимости от количества простых сомножителей. Приведены результаты распределения первых десяти миллионов простых чисел и выдвинуты предположения о возможных законах распределения. Приведена проблема построения меры гладкости, которая должна быть рассмотрена в зависимости от разницы смежных сомножителей и их степеней.

Ключевые слова: дискретный логарифм, простое число, гладкое простое число, первообразный корень, факторизация.

Введение. Задача дискретного логарифмирования является одной из фундаментальных математических задач. На данный момент не существует эффективных алгоритмов вычисления дискретного логарифма. Это стало основой для создания криптографических алгоритмов с открытым ключом в начале 80-х годов, которые широко используются по сей день.

Основная идея алгоритмов с открытым ключом состоит в том, чтобы найти некоторое легко выполняемое на этапе шифрования математическое преобразование, которое было бы трудно отменить без знания секретной информации. Такое преобразование является односторонней функцией [1]. Эти функции включают в себя функцию дискретного возведения в степень, и для ее обращения требуется вычислить дискретный логарифм.

Для мультипликативных групп конечного поля и для групп, подобных эллиптическим кривым, не существует эффективных алгоритмов полиномиальных вычислений. Большинство методов имеют экспоненциальную или подэкспоненциальную сложность. Однако в случае реализации эффективных алгоритмов вычисления дискретного логарифма все криптографические системы, основанные на нем, станут непригодными. До сих пор существование такого алгоритма является открытым вопросом.

* E-mail корреспондирующего автора: umut.t@mail.ru

В работах [2], [3] рассматривается быстрый алгоритм, в котором используется определенный тип чисел, называемый “гладким”. Этот алгоритм обещает полиномиальную сложность, в случае, когда вычеты производятся по модулю простого гладкого числа, следовательно, возникает вопрос об эффективном нахождении таких чисел, и распределении этих чисел среди простых чисел, поскольку в прикладных аспектах криптографии это – числа большой разрядности. Однако четкого определения понятия гладкости не существует. Другой проблемой является поиск чисел такого типа. Далее в статье будет рассмотрен алгоритм, предложенный Сильвером, Полигом и Хеллманом, а также предложена классификация гладких чисел и представлено их распределение.

Материалы и методы. Задача дискретного логарифмирования рассматривается в кольце вычетов по модулю простого числа $(\mathbb{Z}/m\mathbb{Z})^*$. Задача состоит в том, чтобы найти x , $0 \leq x < p - 1$, удовлетворяющее следующему сравнению:

$$a = b^x \pmod{p}, \tag{1}$$

где a, b, p известны, $p-1$ является гладким (все его делители малы) и известны все его разложения q_i на простые делители $p-1 = \prod_{i=1}^k q_i^{\alpha_i}$ [6]. В то же время в работах [3,4] предполагается, что b является первообразным корнем по модулю p . Это означает, что вместе со своим классом вычетов он генерирует группу $(\mathbb{Z}/p\mathbb{Z})^*$ [5]. Однако следует иметь в виду, что при такой формулировке алгоритм является лишь частным случаем решения дискретного логарифмирования. Также его использование требует существования алгоритмов нахождения гладких чисел.

Алгоритм из [3] содержит следующие шаги:

1. Для каждого простого делителя q вычисляются значения $r_{q,j} = b^{\frac{j(p-1)}{q_i}}$, где $j = \overline{0, q_i - 1}$. Для построения b большей степени используется метод последовательного возведения в квадрат [2].

2. Предполагается, что $x \equiv x_0 + x_1 q_1 + \dots + x_{\alpha_i-1} q_1^{\alpha_i-1} \pmod{p}$, где $x_i = \overline{0, q_i - 1}$. Чтобы найти x_0 , вычисляется $a^{\frac{p-1}{q_i}} = b^{\frac{x(p-1)}{q_i}} = b^{\frac{x_0(q-1)}{p}} = r_{q_i, x_0}$. Тогда $x_0 = j$, если $a^{\frac{p-1}{q_i}} = r_{q_i, j}$.

3. $a_k^{\frac{p-1}{q_i^k}} = b^{\frac{(x_k + x_{k+1} q_i)(p-1)}{q_i^k}} = b^{\frac{x_k(p-1)}{q_i^k}} = r_{q_i, x_k}$ для каждого $k = \overline{1, \alpha_i - 1}$, находим $x_k = j$, если $a_k^{\frac{p-1}{q_i^k}} = r_{q_i, j}$.

4. По завершении используется китайская теорема об остатках и находится x .

Такой алгоритм может быть эффективным и реализован с полиномиальной сложностью $O((\log_2 p)^2)$, если число $(p - 1)$ является гладким [7]. Из этого следует, что если факторизация $(p - 1)$ заранее не известна, то необходимость в факторизации не усложняет задачу. Однако следует иметь в виду, что в криптографии используются простые числа p достаточно большой разрядности, тогда возникает проблема в на-

хождении таких чисел таким образом, чтобы $(p - 1)$ были разложены на небольшие простые множители. Может возникнуть ситуация, когда невозможно найти гладкое число, необходимое для решения конкретной задачи.

На данный момент алгоритмы нахождения гладких чисел неизвестны, что значительно усложняет использование приведенного выше алгоритма. До сих пор свойства гладких чисел и их распределение не исследовались. Однако в случае появления эффективных алгоритмов поиска простых чисел p , для которых $(p - 1)$ является гладким, алгоритмы с открытым ключом могут стать непригодными для использования. Далее, в работе, такого типа простое число p будет называться гладким простым числом.

Будем называть простое число p *гладким простым числом*, для которого:

$$p = \prod_{i=1}^k p_i^{\alpha_i} + 1, \tag{2}$$

где p_i – простые числа, расположенные подряд в ряду простых чисел или с некоторым промежутком между ними. Разница между множителями влияет на сглаживание чисел. Решение проблемы построения меры гладкости является неисследованной областью в теории чисел и является темой для дальнейших исследований и анализа.

В зависимости от последовательности возрастания простых множителей гладкие числа можно классифицировать следующим образом:

Идеально гладкие простые числа - это такие числа, что для равенства (2) $p_i = 2, 3, 5, \dots, p_k$. Это означает, что все простые множители являются последовательными простыми числами. Примеры таких чисел представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Идеально гладкие простые числа

p	$\prod_{i=1}^k p_i^{\alpha_i}$
172161991	$2^4 \cdot 3 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11^2 \cdot 13^2$
172972801	$2^8 \cdot 3^3 \cdot 5^2 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13$
174414241	$2^5 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11^3 \cdot 13$
175134961	$2^4 \cdot 3^7 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13$
176576401	$2^4 \cdot 3^2 \cdot 5^2 \cdot 7^3 \cdot 11 \cdot 13$
177627451	$2 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7^2 \cdot 11 \cdot 13^3$
174594421	$2^2 \cdot 3^3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 11 \cdot 13 \cdot 17 \cdot 19$

Этот тип гладких чисел позволит найти дискретный логарифм в соответствии с алгоритмом [3] с полиномиальной сложностью [7]. Однако наряду с определением идеально гладкого числа возникает вопрос о количестве таких чисел. Может случиться так, что поиск гладкого числа большой размерности будет иметь высокую

алгоритмическую сложность, что, в свою очередь, делает использование алгоритма Сильвера-Полига-Хеллмана непрактичным.

Частично сглаженные простые числа. Предполагается, что для таких чисел последовательность простых множителей не обязательно является последовательными простыми числами, но разница между последовательными множителями не должна быть слишком большой. Пример частично сглаженных чисел показан в таблице 2.

Таблица 2 – Частично сглаженные простые числа

p	$\prod_{i=1}^k p_i^{\alpha_i}$
174485741	$2^2 \cdot 5 \cdot 11 \cdot 13^3 \cdot 19^2$
175468801	$2^8 \cdot 3 \cdot 5^2 \cdot 13 \cdot 19 \cdot 37$
170069761	$2^5 \cdot 3^2 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 19 \cdot 37$
170301751	$2 \cdot 3 \cdot 5^3 \cdot 17 \cdot 19^2 \cdot 37$

Частично гладкие простые числа также могут быть использованы для алгоритма [3], но его эффективность будет зависеть от меры гладкости таких чисел.

Открытой проблемой является эффективный поиск гладких чисел большой разрядности. Для этого необходимо знать, как распределяются простые числа в зависимости от количества множителей, поскольку при поиске дискретного логарифма нужно найти гладкие простые числа с достаточным количеством множителей. Это означает, что такие числа будут относиться к числу простых чисел, число множителей которых превышает определенное число.

На рисунке 1 показан график, изображающий последовательность простых множителей для идеально гладких простых чисел $p = 174594421$ (сплошная линия на графике) и частично гладких простых чисел $p = 170301751$ (пунктирная линия). По вертикальной оси нанесены простые множители p_i , по горизонтальной оси – значения i .

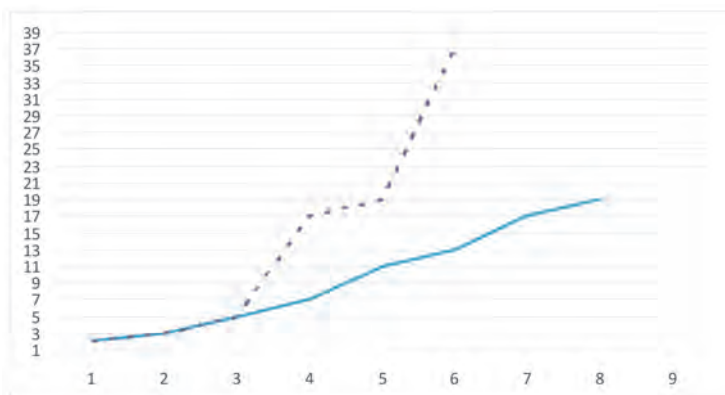


Рисунок 1 – Последовательность простых множителей для идеально гладких и частично гладких чисел.

В результате компьютерного моделирования, использованного для изучения свойств простых чисел, и решения гипотезы Артина в [8] были найдены простые множители для первых десяти миллионов простых чисел. Для такого объема количество простых множителей не превышает 8.

На рисунке 2 показан график распределения первых десяти миллионов простых чисел в зависимости от количества факторов. На горизонтальной оси нанесено количество простых множителей, а на вертикальной оси – количество соответствующих простых чисел.

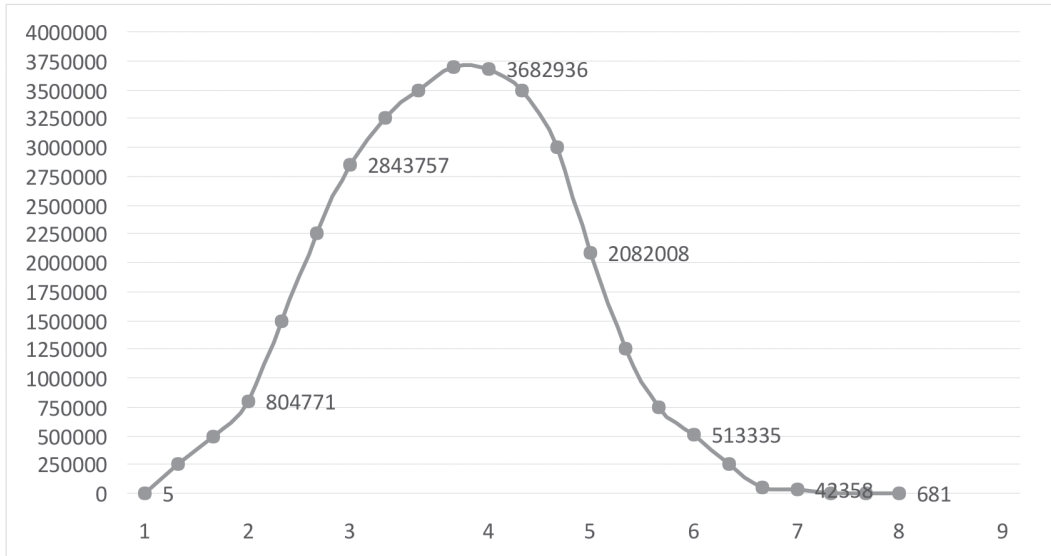


Рисунок 2 – Распределение первых десяти миллионов простых чисел в зависимости от количества множителей

Результаты и обсуждения. Исходя из полученных данных, можно предположить, что простые числа распределяются по одному из следующих законов:

1. Распределение χ^2 (хи-квадрат) с плотностью вероятности $f(x) = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{k}{2}}}{\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} x^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{x}{2}}$ где $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$.

2. Распределение Стьюдента с плотностью $f(x) = \frac{\Gamma\left(\frac{k+1}{2}\right)}{\sqrt{n\pi}\Gamma\left(\frac{k}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}$.

3. Логнормальное распределение с плотностью $f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - a)^2}{2\sigma^2}}$ с параметрами a и σ .

Открытым вопросом является проблема нахождения гладких простых чисел достаточной размерности и того, как они распределяются между простыми. Каждая из

задач, ранее перечисленных в работе, является фундаментальной проблемой современной математики и влияет на скорость реализации алгоритма Сильвера-Полига-Хеллмана и, соответственно, на возможность вычисления дискретного логарифма за полиномиальное время.

Заключение. Для решения задачи дискретного логарифмирования с использованием алгоритма Сильвера-Полига-Хеллмана важным моментом является использование гладких чисел, которые должны удовлетворять $(p - 1) > 10^{300}$. Однако до сих пор неизвестно, как найти такие числа. Это затрудняет вычисление задачи. Для решения этой задачи необходимо решить ряд фундаментальных проблем теории чисел. Одной из них является определение закона распределения простых чисел, а также распределения гладких простых чисел среди простых чисел.

При анализе первых десяти миллионов простых чисел было обнаружено, что число идеально гладких чисел невелико и нет доказательств того, что их число бесконечно. Следовательно, в сокращенном алгоритме также необходимо учитывать частично гладкие простые числа.

Следующим важным фактором при решении задачи дискретного логарифмирования является мера гладкости простого числа, поскольку от этого напрямую зависит скорость выполнения алгоритма. Построение меры гладкости и анализ алгоритма в зависимости от гладкости числа - тема для дальнейшего изучения.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке грантового финансирования по научно-техническим проектам Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан, грант № AP19677733.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Smart N. Cryptography. – Moscow: Techno sphere, 2005.–528 p.
- 2 Манин Ю.И., Панчишкин А.А. Введение в современную теорию чисел. – Москва: МЦНМО, 2009. – 552 с.
- 3 Коблиц Н. Курс теории чисел и криптографии. – Москва: Научное изд-во ТВГУ, 2001. – 254 с.
- 4 Турусбекова, У., Муратбеков, М., Алтынбек, С., Ахатова, Ж. Исследование свойств структур рекурсивных циклов первообразных корней// Вестник КазНПУ им. Абая, Серия «Физико-математические науки». – 2023. –№3(83). DOI:<https://doi.org/10.51889/2959-5894.2023.83.3.007>.
- 5 Ireland K., Rosen M. A Classical Introduction to Modern Number Theory. – New York: Springer, 1998.–394 p., ISBN 978-1-4757-2103-4.
- 6 Vostrov, G., Bezrukova Yu. Analysis and development of existing algorithms for solving the discrete logarithm problem // ELTECS ONPU, Астропринт. – 2018.– № 27, P. 242–247. – ISSN 2221–3805.
- 7 Pohlig S., Hellman M. An Improved Algorithm for Computing Logarithms Over GF(p) and its Cryptographic Significance //IEEE Transactions on Information Theory. – 1978. – №1 (24), P. 106-110.
- 8 Vostrov G., Opiata R. Generalized Artin hypothesis and computer information model its solutions // ELTECS ONPU, Астропринт. –2018.– №29, P. 120–126. – ISSN 2221-3805.

REFERENCES

- 1 Smart, N. (2005), Cryptography, – Moscow: Techno sphere, (p.528)
- 2 Manin, Yu., Panchishkin, A., (2009), Vvedeniye v sovremennuyu teoriyu chisel [Introduction to the modern theory of numbers] – Moscow: MCNMO, (p.552)
- 3 Koblitz, N. (2001), Kurs teorii chisel i kriptografii [Course of number theory and cryptography], Moscow: Scientific publishing house PTA, (p. 254)
- 4 Turusbekova, U., Muratbekov, M., Altynbek, S., Akhatova, Zh. (2023), Issledovaniye svoystv struktur rekursivnykh tsiklov pervoobraznykh korney [Research of the properties of the structures of recursive cycles of primitive roots] Vestnik KazNPU im. Abaya, Seriya «Fiziko–matematicheskiye nauki». – vol. 3(83). DOI:https://doi.org/10.51889/2959–5894.2023.83.3.007.
- 5 Ireland K., Rosen M. (1998), A Classical Introduction to Modern Number Theory. — New York: Springer, (p. 394), ISBN 978–1–4757–2103–4.
- 6 Vostrov, G., Bezrukova Yu. (2018), Analysis and development of existing algorithms for solving the discrete logarithm problem, ELTECS ONPU, Astroprint, 27, 242–247. – ISSN 2221–3805.
- 7 Pohlig, S, Hellman, M., (1978) An Improved Algorithm for Computing Logarithms Over GF(p) and its Cryptographic Significance – IEEE Transactions on Information Theory, vol. 1, no. 24, 106–110.
- 8 Vostrov, G. and Opiata, R. (2018), Generalized Artin hypothesis and computer information model its solutions, ELTECS ONPU, Astroprint, 29, 120–126. – ISSN 2221–3805.

У. К. ТУРУСБЕКОВА¹, М. Ә. БЕРСҮГІР²

¹«Esil University» мекемесі, Астана, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университет, Алматы, Қазақстан

ДИСКРЕТТІ ЛОГАРИФМ ЕСЕПТЕРІНДЕГІ СИЛЬВЕР–ПОЛИГ–ХЕЛЛМАН АЛГОРИТМІН ЗЕРТТЕУ

Аталған жұмыста маңызды математикалық мәселе болып табылатын дискретті логарифм есебінің тұжырымы сипатталған. Сильвер–Полиг–Хеллманның дискретті логарифмдеуін есептеу алгоритмі талданған және оның кемшіліктері тегіс деп аталатын арнайы түрдегі сандарды қолданудан туындайды. Үлкен биттік тегіс жай сандарды іздеу кезінде пайда болатын мәселе көрсетілген. Мұндай сандарды іздеу процесі Сильвер–Полиг Хеллман алгоритмін баяулатады, сонымен қатар қажетті биттің тегіс жай сандарын табуға болатындығы белгісіз, өйткені жай сандар арасындағы олардың саны өте аз, бұл алгоритмді қолданудың тиімділігіне күмән келтіреді. Тегіс жай сан ұғымы енгізілді, қатарынан орналастырылған факторлардың өсуіне қарай мінсіз тегіс және жартылай тегіс жай сандарға жіктеу ұсынылды. Тегістікке алғашқы он миллион жай сандар талданды, олардың арасында өте тегіс бірнеше ондаған табылды. Тегіс жай сандарды табу және олардың қасиеттерін талдау үшін жай көбейткіштердің санына байланысты жай сандардың қалай бөлінетінін білу қажет екендігі көрсетілген. Алғашқы он миллион жай сандардың таралу нәтижелері келтірілген және ықтимал таралу заңдары туралы болжамдар берілген. Көрініс көбейткіштердің айырмашылығына және олардың дәрежесіне байланысты қарастырылуы керек тегістік өлшемін құру мәселесі келтірілген.

Түйін сөздер: дискретті логарифм, жай сан, тегіс жай сан, алғашқы түбір, факторизация.

U. K. TURUSBEOVA¹, M. A. BERSUGIR²

¹Institution "Esil University", Astana, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

INVESTIGATION OF THE SILVER–POHLIG–HELLMAN ALGORITHM IN DISCRETE LOGARITHM TASKS

This paper describes the formulation of the discrete logarithm problem, which is an important mathematical problem. The algorithm for calculating the Silver–Pohlig–Hellman discrete logarithm is analyzed and its disadvantages arising from the use of numbers of a special type called smooth are indicated. The problem that arises when searching for smooth primes of high bit depth is indicated. The process of searching for such numbers slows down the Silver–Pohlig Hellman algorithm, in addition, it is not known whether it is possible to find smooth primes of the required bit depth, because their number among the primes is extremely small, which calls into question the effectiveness of the algorithm. The concept of a smooth prime number is introduced, and a classification is proposed depending on the growth of consecutive multipliers into perfectly smooth and partially smooth primes. The first ten million primes were analyzed for smoothness, among which several tens were found to be perfectly smooth. It is shown that in order to search for smooth primes and analyze their properties, it is necessary to know how the primes are distributed depending on the number of prime factors. The results of the distribution of the first ten million primes are presented and assumptions about possible distribution laws are made. The problem of constructing a measure of smoothness is presented, which should be considered depending on the difference of adjacent factors and their degrees.

Key words: *discrete logarithm, prime number, smooth prime number, primitive root, factorization.*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Адилжанова С. А. – PhD, и.о. доцента, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
2. Айтуганова Ж. Т. – докторант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;
3. Айтхожаева Е. Ж. – доцент, канд.техн.наук; ассоциированный профессор; Институт автоматки и информационных технологий, кафедра Кибербезопасность, обработка и хранение информации КазНИТУ им. К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан;
4. Акжолова А. – магистр, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;
5. Алдажаров К. С. – к.э.н., ассистент профессора Школы цифровых технологий «Университет «Нархоз», Алматы, Казахстан;
6. Алимжанова Ж. М. – к.ф.-м.н., старший преподаватель КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
7. Али А. К. – магистрант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
8. Алишева С. С. – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
9. Алиев Ш. А. – д.п.н., профессор, Кыргызский государственный университет им. И. Арабаева, Бишкек, Кыргызстан;
10. Алиева М. Е. – магистр е.н., Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан;
11. Ашимжанова Д. Р. – магистрант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
12. Ахметшарипов Д. С. – магистрант, Институт автоматки и информационных технологий, кафедра Кибербезопасность, обработка и хранение информации КазНИТУ им. К.И.Сатпаева, Алматы, Казахстан;

-
13. Әлиасқар М. С. – докторант Қазақстанның миллиондық университетінің им. аль-Фараби, Алматы, Қазақстан;
 14. Байтенова Л. М. – доктор экономикалық ғылымдар, профессор, басқарушы кафедра "Информациялық технологиялар" Университетінің Туран, Алматы, Қазақстан;
 15. Бахадирова Г. Б. – Халықаралық университет Астана, Астана, Қазақстан;
 16. Берсүгір М. Ә. – к.ф.-м.н., доцент, Қазақстанның миллиондық педагогикалық университетінің Абай, Алматы, Қазақстан
 17. Бимолдина Ж. А. – магистр, сениор-лектор университетінің «Туран», Алматы, Қазақстан;
 18. Бренер А. М. – д.т.н., профессор, Южно-Қазақстандық университетінің им. М. Ауэзова, Шымкент, Қазақстан;
 19. Гирнис С. Р. – кандидат техникалық ғылымдар, ассоциацияланған профессор, Торайғыров университетінің, Павлодар, Қазақстан;
 20. Джомартова Ш. А. – доктор техникалық ғылымдар, доцент Қазақстанның миллиондық университетінің им. аль-Фараби, Алматы, Қазақстан;
 21. Дикамбай Т. Б. – докторант Қазақстанның миллиондық педагогикалық университетінің им. Абай, Алматы, Қазақстан;
 22. Дүйсенова М. А. – магистрант Қазақстанның миллиондық университетінің им. аль-Фараби, Алматы, Қазақстан;
 23. Егенова А. М. – PhD, старший преподаватель, Южно-Қазақстандық университетінің им. М. Ауэзова, Шымкент, Қазақстан;
 24. Егемберды Ш. К. – магистр, старший преподаватель, Тараздық регионалдық университетінің им. М.Х. Дулати, Тараз, Қазақстан;
 25. Елеукулова А. Д. – исполнительный директор ТОО «КазМет-Инжиниринг», Алматы, Қазақстан;
 26. Ерденова А. К. – Халықаралық университет Астана, Астана, Қазақстан; Евразиялық миллиондық университетінің им. Л.Н. Гумилева, Астана, Қазақстан;

27. Жакаш А. Т. – кандидат технических наук, доцент, Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;
28. Жайлыбаева А. О. – преподаватель, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актобе, Казахстан;
29. Жаксымбет А. Т. – студент Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
30. Жарболов А. – ученик 11 класса Республиканской физико-математической школы, Алматы, Казахстан;
31. Жидебаева А. Н. – к.т.н., заместитель заведующего кафедрой «Информатика и математика» университета дружбы народов им. А.Куатбекова, Шымкент, Казахстан;
32. Зиятбекова Г. З. – PhD, и.о. доцента КазНУ им. аль-Фараби; СНС Института Информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК;
33. Иманкулов Т. С. – доцент, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
34. Кайракбаев А. К. – PhD, профессор кафедры технических дисциплин Казахско-Русского международного университета, Актобе, Казахстан;
35. Кемельбекова Ж. С. – к.т.н., ассоциированный профессор кафедры «Информатика» Южно-Казахстанского университета (ЮКУ) им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
36. Кереев А. К. – доктор PhD, заведующий кафедрой Информатики и информационных технологий, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, Актобе, Казахстан;
37. Кожобаев С. Е. – старший преподаватель кафедры «Информатика» Южно-Казахстанского университета (ЮКУ) им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
38. Корокбаев А. У. – старший преподаватель кафедры «Информатика и математика» университета дружбы народов им. А.Куатбекова, Шымкент, Казахстан;
39. Королева Н. В. – сениор-лектор, Алматы менеджмент университет, Алматы, Казахстан;

-
40. Коштыбаев Т. Б. – к.ф.-м.н., доцент, Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан;
41. Крахмалева Ю. Р. – кандидат технических наук, доцент, Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан;
42. Куракбаева С. Д. – к.т.н., ассоциированный профессор, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
43. Лахно В. А. – д.т.н., профессор, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины;
44. Майлыбаева А. Д. – ассоциированный профессор кафедры Информатики, Атырауский университет им. Халела Досмухамедова, Атырау, Казахстан;
45. Мазаков Т. Ж. – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Научно-исследовательского института математики и механики Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
46. Мазакова А. Т. – докторант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
47. Макашев К. Т. – Ph.D, старший преподаватель, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан;
48. Маткерим Б. – ст.преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
49. Махмут Е. – ст.преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
50. Молдакалыкова Б. – магистр, сениор-лектор университета «Туран», Алматы, Казахстан;
51. Мусина Д. – 2 курс магистранты, кафедра информатики КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
52. Мусабеков А. А. – к.т.н., ассоциированный профессор, заведующий кафедрой, Южно-Казахстанский Университет им. М. Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
53. Назырова А. Е. – Международный университет Астана, Астана, Казахстан; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;

54. Ниязбек Н. М. – магистрант Казахского национального университета им. аль-Фараби;
55. Нысанов Е. А. – д.ф.-м.н., профессор кафедры «Информатика» Южно-Казахстанского университета (ЮКУ) им. М.Ауэзова, Шымкент, Казахстан;
56. Отарбаев Ж. О. – доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК, Алматы, Казахстан;
57. Рақымбеков Б. Б. – магистрант КазНУ им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
58. Раманкулов А. А. – докторант, Евразийский университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан;
59. Рамазанов Е. Т. – к.т.н., сениор-лектор, Алматы менеджмент университет, Алматы, Казахстан;
60. Рахимжанова Л. – педагогика ғылымдарының кандидаты, и.о. профессора кафедры информатики КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
61. Рысдаулетова А. А. – преподаватель, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, Актобе, Казахстан;
62. Сакыпбекова М. Ж. – PhD, и.о. доцента, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
63. Серикбаев Н. М. – магистрант КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
64. Сибанбаева С. Е. – Ph.D, ассоциированный профессор, Алматы менеджмент университет, Алматы, Казахстан;
65. Станевич В. Т. – кандидат технических наук, профессор, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан;
66. Талпакова Б. – магистр, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;
67. Тасболатұлы Н. – Международный университет Астана, Астана, Казахстан;
68. Тойбек Н. Ж. – магистрант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
69. Турысбаев А. Е. – магистрант КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;

-
70. Турусбекова У. К. – PhD, и.о. доцента кафедры «Информационные системы и технологии», Учреждение «Esil University», Астана, Казахстан
71. Туткушева Ж. С. – преподаватель кафедры математики Актюбинского Регионального университета им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан;
72. Тюлепбердинова Г. А. – к.ф.-м.н., ассоциированный профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
73. Уандыкова М. К. – доктор экономических наук, доцент, профессор Школы цифровых технологий Университета «Нархоз», Алматы, Казахстан;
74. Уйпалакова Д. – магистр, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;
75. Умирзакова Б. Г. – заместитель заведующей кафедры Информатики и информационных технологий, Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, Актюбе, Казахстан;
76. Черикбаева Л. Ш. – PhD, старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан;
77. Шарипова Б. Д. – к.э.н., ассоциированный профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан;
78. Щепетова С. Е. – доктор экономических наук, профессор кафедры системного анализа, Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, Москва, Российская Федерация;
79. Шорманов Т. С. – докторант Казахского национального университета им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Б. Жумагулов. Эра инженера</i>	5
ИНФОРМАЦИОННЫЕ-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
<i>С. А. Адилжанова, Л. Ш. Черикбаева, М. Ж. Сакыпбекова, Г. А. Тюлепбердинова, Б. Д. Шарипова, В. А. Лахно. Концептуальное проектирование системы поддержки принятия решений для задачи распределения ресурсов стороны защиты информации на объектах информатизации.</i>	11
<i>Е. Ж. Айтхожаева, Д. С. Ахметшарипов. Технология использования специальных функций шифрования в POSTGRESQL</i>	21
<i>Ж. М. Алимжанова, Н. Ж. Тойбек, А. К. Али, Н. М. Ниязбек, Д. Р. Ашимжанова, М. А. Дуйсенова. Анализ решений многофакторной аутентификации</i>	30
<i>А. М. Егенова, А. М. Бренер, С. Д. Куракбаева, А. Н. Жидебаева, А. А. Мусабеков. Компьютерное моделирование нелинейной волновой модели явлений переноса в средах с нелокальными эффектами</i>	39
<i>Г. З. Зиятбекова, А. Е. Турысбаев, Б. Б. Рақымбеков, Н. М. Серикбаев, Б. Ж. Молдакалыкова, Ж. А. Бимолдина. Современные подходы к обеспечению информационной безопасности: анализ системы обнаружения вторжений, брандмауэров и аудита в контексте организационной защиты данных</i>	47
<i>Ю. Р. Крахмалева, А. Т. Жакаш, Ш. К. Егемберды. Создание алгоритма планирования использования и управления водой в оросительных системах</i>	55
<i>А. К. Кереев, А. А. Раманкулов, Б. Г. Умирзакова, А. О. Жайлыбаева, А. А. Рысдаулетова. Использование метода STEERING BEHAVIORS в управлении движениями роботов</i>	64
<i>Е. Махмут, Т. С. Иманкулов, Б. Маткерим. Проектирование и разработка гибридной (MPI+CUDA) параллельной программы для решения задачи вытеснения нефти</i>	72
<i>Д. Е. Мусина, Л. Б. Рахимжанова. Интерактивные рабочие тетради как способ развития познавательной деятельности в процессе обучения роботехники</i>	83
<i>Е. А. Нысанов, Ж. С. Кемельбекова, А. Н. Жидебаева, С. Е. Кожобаев, А. У. Корокбаев. Компьютерное моделирование и описание явления развития информационной техники с использованием закона Мура</i>	93
<i>Е. Т. Рамазанов, С. Е. Сибанбаева, Н. В. Королев. Разработка интеллектуальной системы по примеру локального OLAP куба</i>	103

<i>Б. Э. Талпакова, Д. М. Уйпалакова, А. И. Акжолова, Ж. Т. Айтуганова.</i> Создать игры из пазла в платформе UNITY	111
<i>Н. Тасболатұлы, А. К. Ерденова, А. Е. Назырова, Г. Б. Бахадирова, С. С. Алишева.</i> Глобальное практическое отслеживание выходных данных для класса неопределенных нелинейных систем	121
<i>М. К. Уандыкова, Л. М. Байтенова, С. Е. Щепетова, К. С. Алдажаров, А. Д. Елеукулова, А. Дж. Майлыбаева.</i> Модульная организация системы поддержки принятия решений для управления инновационной эконо- микой	137
<i>Т. С. Шорманов, Т. Ж. Мазаков, Ш. А. Джомартова, М. С. Элиасқар, Ә.Т. Мазақова, А.Т. Жақсымбет.</i> Создание программно-аппаратного ком- плекса для идентификации по отпечаткам пальцев	147

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

<i>Жарболлов Алихан.</i> По пути великого Капрекара: А-функция, репью- ниты и их свойства	158
<i>А. К. Кайракбаев, Ж. С. Туткушева.</i> О свойствах одной вспомогатель- ной функции для вычисления глобального экстремума	178
<i>Т. Б. Коштыбаев, Ш. А. Алиев, Т. Б. Дикамбай, М. Е. Алиева.</i> Математи- ческая идентичность законов упругих деформаций и гидростатики	188
<i>Ж. О. Отарбаев, С. Р. Гирнис, К. Т. Макашев, В. Т. Станевич.</i> Динамика многослойной оболочки в упругом массиве под воздействием движущейся периодической нагрузки	196
<i>У. К. Турусбекова, М. Э. Берсүгір.</i> Исследование алгоритма Сильвера- Полига-Хеллмана в задачах дискретного логарифмирования	206
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	214

CONTENTS

<i>B. Zhumagulov</i> . The Era of Engineers	5
---	---

INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES

<i>S. Adilzhanova, L. Cherikbayeva, M. Sakypbekova, G. Tyulepberdinova, B. Sharipova, V. Lakhno</i> . Conceptual design of a decision support system for the task of information protection resource allocation at informatization objects	11
--	----

<i>Y. Zh. Aitkhozhayeva, D. S. Akhmetsharipov</i> . Technology for using special encryption functions in postgresql	21
---	----

<i>Zh. M. Alimzhanova, N. J. Toibek, A. K. Ali, N. M. Niyazbek, D. R. Ashimzhanova, M. A. Duisenova</i> . Analysis of multi-factor authentication solutions	30
---	----

<i>A. M. Egenova, A. M. Brener, S. D. Kurakbayeva, A. N. Zhidebayeva, A. A. Musabekov</i> . Computer simulation of a nonlinear wave model of transport phenomena in media with non-local effects	39
--	----

<i>G. Z. Ziyatbekova, A. E. Turysbayev, B. B. Rakymbekov, N. M. Serikbayev, B. Moldakallykova, Zh. A. Bimoldina</i> . Modern approaches to information security: analysis of intrusion detection, firewalls and auditing in the context of organizational data protection	47
---	----

<i>A. Kereyev, A. Ramankulov, B. Umirzakova, A. Zhailybayeva, A. Rysdauletova</i> . The use of the steering behaviours method in robot motion control	55
---	----

<i>Yu. R. Krakhmaleva, A. T. Zhakash, Sh. K. Yegemberdi</i> . Creation of water use and control planning algorithm in irrigation systems	64
--	----

<i>E. Makhmut, T. S. Imankulov, B. Matkerim</i> . Design and development of a hybrid (MPI+cuda) parallel program for solving the oil displacement problem	72
---	----

<i>Mussina D., Rakhimzhanova L</i> . Interactive workbooks as a method for developing cognitive activity in the process of learning robotics	83
--	----

<i>E. A. Nysanov, Zh. S. Kemelbekova, A. N. Zhidebayeva, S. E. Kozhabaev, A. U. Korokbaev</i> . Computer simulation and description of the phenomenon of the development of information technology using moore's law	93
--	----

<i>E. T. Ramazanov, S. E. Sibambaeva, N. V. Koroleva</i> . Development of local «Knowledge» cube of knowledge management system	103
---	-----

<i>B. Talpakova, D. Uipalakova, A. Akzholova, Zh. Aituganova</i> . Create games from pazyl in Unity platform	111
--	-----

<i>N. Tasbolatuly, A. K. Yerdenova, A. E. Nazyrova, G. B. Bakhadirova, S. S. Alisheva</i> Global Practical Output Tracking for a Class of Uncertain Nonlinear Systems	121
---	-----

M. K. Uandykova, L. M. Baitenova, S. E. Shchepetova, K. S. Aldazharov, A. D. Eleukulova, A. Dzh. Mailybayeva. Modular organization of a decision support system for managing an innovative economy 137

T. Shormanov, T. Mazakov Sh. Jomartova, M. Aliaskar, A. Mazakova, A. Zhaksymbet. Creation of a software and hardware complex for fingerprint identification 147

APPLIED MATHEMATICS

Zharbolov Alikhan. Along the path of the great Kaprekar: a-function, repunits and their properties 158

A. K. Kairakbaev, Z. S. Tutkusheva. On the properties of one auxiliary function for calculating the global extremum 178

T. Koshtybayev, S. Aliyev, T. Dikambai, M. Aliyeva. Mathematical identity of the laws of elastic deformations and hydrostatics 188

Zh. O. Otarbaev, S. R. Girnis, K. T. Makashev, V. T. Stanevich. The dynamics of a multilayer shell in an elastic space under the influence of a moving periodic load 196

U. K. Turusbekova, M. A. Bersugir. Investigation of the Silver–Pohlig–Hellman algorithm in discrete logarithm tasks 206

THE INFORMATION ABOUT AUTHORS..... 214

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 18.03.2024 г.
Гарнитура Таймс. Формат 70x100 ¹/₁₆.
Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 1000 экз.

Отпечатано в типографии ТОО «Luxe Media Publishing»