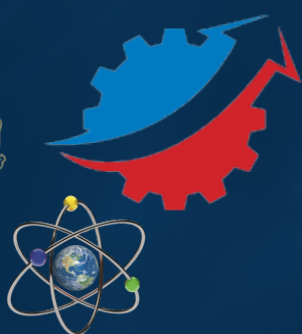


MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

*ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal*

2026-YIL
IYUN/6-SON, III-QISM



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari

08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google
Scholar

ISSN INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

OpenAIRE



ISSN: 3060-463X



muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 2026-yil, iyun.

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afforovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Pardaev Umidjon Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Xolmirzayev Ulug'bek Abdulazizovich, Iqtisodiyot fanlari doktori (DSc)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
05.01.07 – Matematik modellashtirish
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
05.08.06 – "G'ildirakli va gusenisali mashinalar va ularni ishlatish" (texnika fanlari)
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
08.00.02 – Makroiqtisodiyot
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
08.00.06 – Ekonometrika va statistika
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
08.00.11 – Marketing
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
08.00.13 – Menejment
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

RIVOJLANAYOTGAN MAMLAKATLARDA ESG TAMOYILLARINI JORIY ETISHNING INSTITUTSIONAL TO'SIQLARI VA IQTISODIY OQIBATLARI	10
I. R. Berdikulova	
KIMYO SANOATINING IQTISODIYOTDA TUTGAN O'RNI VA TARMOQ KORXONALARIDA BOSHQARUV HISOBI	14
Onorboev Sh.M.	
A WEEKLY LOGISTICS-CONTROLLING SYSTEM FOR EXPORT SUPPLY CHAINS: CORRIDOR-LEVEL EVIDENCE FROM A TEXTILE EXPORTER.....	26
Mukhammadiyahaminova Shakhzoda Sherzodovna	
FOTOVOLTAIK-TROMBE DEVORI ASOSIDA HAVONI ISITISH, TOZALASH VA ELEKTR ENERGIYASI ISHLAB CHIQRISH JARAYONLARINI INTEGRATSIYALASHNING ILMIY-METODIK TAHLILI.....	36
Rahimova Volida Karim qizi	
XAVFSIZ HAYOT TARZINI SHAKLLANTIRISHDA TA'LIM VA TARBIYANING O'RNI: NAZARIY ASOSLAR VA AMALIY MODEL.....	42
Nigmatjonov Sardor Abdumannovich	
РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ВНЕДРЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ СТРАТЕГИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД.....	49
Дониёрова Зухрабону Алишер кизи	
KAMBAG'AL OILALARNI TADBIRKORLIKKA JALB QILISHDA DAVLAT TOMONIDAN MOLIVAVIY QO'LLAB-QUVVATLASH VA BOSHQARISH (MENEJMENT) TIZIMINI TAKOMILLASHTIRISH YO'LLARI...53	
Bazarbaeva Asiya Shalkarbaevna	
MOLIVAVIY INKLYUZIVLIK KONSEPSIYASI: BANK XIZMATLARINING KAMBAG'ALLIK DARAJASIGA TA'SIRINING NAZARIY ASOSLARI VA O'ZBEKISTON AMALIYOTI.....	58
Niyozov Zuxur, Abdujalilov Shexroz, Zubaydulloyeva Damira	
KORXONALARNI QAYTA TASHKIL ETISH JARAYONIDA ASOSIY VOSITALAR HISOBI VA BAHOLASHNI TAKOMILLASHTIRISH.....	61
Davletov Ikrom Raximberganovich	
ИОРДАНИЯ КАК ТУРИСТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР БЛИЖНЕГО ВОСТОКА.....	67
Салихова Алина Муратовна	
QUYOSH ENERGIYASINI KONVERSIYALOVCHI OPTOELEKTRON GELIOTRANSFORMATORLARNING FIZIK-TEXNIK ASOSLARI	73
Axunov Qambarali, Xomidov Abdullajon, Mashrapova Irodaxon	
XXI ASRDA O'ZBEKISTONDA ELEKTR ENERGIYASINI TEJASHDAGI YANGI TEXNOLOGIYALAR.....	78
Xamrakulova Xilola, Yusupova Sevaraxon	
HUDUDIY IXTISOSLASHUVNING SHAKLLANISH OMILLARI VA MINTAQAVIY RIVOJLANISHDAGI AHAMIYATI	83
Sodiqova Nigora	
BANKLAR TRANSFORMATSIYASI JARAYONIDA AKTIVLAR SAMARADORLIGI TAHLILI.....	89
Muminov Bekzod Polvonovich	
ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ КАПИТАЛ КАК КЛЮЧЕВОЙ ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ УЗБЕКИСТАНА	95
Садыков Авазбек Мадаминович, Цхай Лана Александровна	
MILLIY KADRLAR ZAXIRASINI SHAKLLANTIRISHNING ILG'OR XORIJ TAJRIBASI.....	103
G'aniyev Elyor Sobirjonovich	
DIGITALIZATION OF INSOLVENCY PROCESSES: THE ROLE OF A UNIFIED ELECTRONIC PLATFORM IN ENSURING TRANSPARENCY AND ECONOMIC EFFICIENCY	110
Damirjon Nurmatovich Soliyev	



О ПРОЦЕССАХ ЦИФРОВИЗАЦИИ В УЗБЕКИСТАНЕ.....	116
Джумаев Аскар Хайдарович	
SOLIQ MA'MURCHILIGI METODOLOGIYASINING HUQUQIY, TASHKILY VA RAQAMLI BAZASINI SHAKLLANTIRISH BILAN BOG'LIQ MUAMMOLAR.....	121
Shamsiev O'ktam Sayfitdinovich	
KO'P XONADONLI UYLARDA KOMMUNAL XIZMATLAR KO'RSATISH SOHASINING INSTITUTSIONAL ASOSLARI VA HOZIRGI HOLATI TAHLILI.....	127
Muminov Obidjon Odilovich	
MINTAQA VA UNING HUDUDLARIDA MEHNAT OMILI HISOBIGA SANOAT SALOHİYATINI OSHIRISH YO'LLARI.....	135
Urazaliyev Bekzod Sultanbayevich	
КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С УЧЕТОМ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ.....	141
Джуманов А.А.	



КЛАССИФИКАЦИЯ ИНСТРУМЕНТОВ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ С УЧЕТОМ ОПТИМИЗАЦИИ БИЗНЕС ПРОЦЕССОВ

Джуманов А.А.

Ректор, Фармацевтический технический университет, к.т.н.

ORCID: 0009-0006-5904-3816

Email: a.djumanov@pharmatechuni.uz

Аннотация: В данной статье обсуждаются различные инструменты математического и компьютерного моделирования производственных процессов, применяемого для принятия эффективных управленческих решений. На основе обзора научной литературы представлены классификации применения цифровых инструментов моделирования и методов цифрового моделирования в сравнении уровня абстракции с сложностью вычислительного объема. Кратко обсуждаются подходы цифрового моделирования на основе различных математических инструментов.

Ключевые слова: моделирование, принятие решений, цифровая трансформация, менеджмент.

Annotatsiya: Ushbu maqolada samarali boshqaruv qarorlarini qabul qilish uchun foydalaniladigan ishlab chiqarish jarayonlarini matematik va kompyuter modellashtirishning turli vositalari muhokama qilinadi. Ilmiy adabiyotlar tahlili asosida abstraksiya darajasini hisoblash hajmining murakkabligi bilan taqqoslashda raqamli modellashtirish vositalari va raqamli modellashtirish usullarini qo'llash tasniflari keltirilgan. Turli matematik vositalar asosida raqamli modellashtirish yondashuvlari qisqacha muhokama qilinadi.

Kalit so'zlar: modellashtirish, qaror qabul qilish, raqamli transformatsiya, menejment.

Abstract: This article discusses various tools for mathematical and computer modeling of production processes used to make effective management decisions. Based on a review of the scientific literature, classifications of the use of digital modeling tools and digital modeling methods are presented in comparison of the level of abstraction with the complexity of the computational volume. Digital modeling approaches based on various mathematical tools are briefly discussed.

Key words: modeling, decision-making, digital transformation, management.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях стремительного роста возможностей информационно-коммуникационных технологий и, следовательно, углубления цифровизации и цифровой трансформации бизнес-процессов и всей системы экономической деятельности, хозяйствующим субъектам открываются широкие возможности внедрения наиболее эффективных цифровых платформ принятия стратегические решений.

В условиях реализации стратегии «Цифровой Узбекистан – 2030», роста ИТ-сектора, расширения цифровых сервисов и необходимости повышения конкурентоспособности предприятий требуются исследования, ориентированные на решение задач, имеющих как научное, так и прикладное значение для национальной экономики.

В данной работе исследуются современные приоритеты развития цифровой экономики Узбекистана, в частности формируется классификация цифровых инструментов трансформацию предприятий.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

Вопросы цифровой трансформации процессов принятия управленческих решений и применения математического моделирования в современных условиях приобретают особую актуальность в связи с развитием цифровой экономики и технологий анализа данных. Теоретические основы системного моделирования были заложены в работах Дж. Форрестера, который разработал концепцию системной динамики и обосновал роль обратных связей, временных задержек и организационной структуры в



управлении сложными социально-экономическими системами. Данный подход создал фундамент для дальнейшего развития методов цифрового моделирования и прогнозирования.

Существенный вклад в развитие теории имитационного моделирования внес Г. Гордон, рассматривавший моделирование как эффективный инструмент исследования сложных систем и анализа различных сценариев их функционирования. В дальнейшем А. Лоу подробно раскрыл методологию построения и анализа имитационных моделей, уделяя особое внимание вопросам формализации систем, определения параметров и оценки результатов моделирования.

Развитие технологий цифрового моделирования привело к формированию нескольких основных парадигм моделирования. Исследования А. Борщева и А. Филиппова показали возможности интеграции системной динамики, дискретно-событийного и агентно-ориентированного моделирования при решении прикладных задач управления. Вопросы сравнительного анализа системной динамики и агентно-ориентированного моделирования получили дальнейшее развитие в работах Н. Ширитца и П. Миллинга, а также К. Макала, которые обосновали методологические различия и возможности взаимной трансформации данных подходов.

Значительное внимание вопросам агентно-ориентированного моделирования уделено в исследованиях Дж. Эпштейна, который рассматривает агентные модели как инструмент изучения сложных социальных и экономических процессов на основе взаимодействия автономных субъектов. Аналогичные направления получили развитие в работах М. Хэйра и П. Дедмана, предложивших классификацию агентно-ориентированных моделей для анализа сложных систем, а также в исследованиях Ф. Ключля и А. Баццан, посвящённых современным методам агентного моделирования и их практическому применению.

В условиях стремительного роста объёмов данных особое значение приобретают методы аналитики и интеллектуальной обработки информации. Д. Делен и Х. Демиркан рассматривают данные, информацию и аналитику как самостоятельные цифровые сервисы, обеспечивающие поддержку принятия решений в организациях. Их исследования подчеркивают важность интеграции аналитических инструментов в цифровые платформы управления.

Отдельное место в цифровом моделировании занимают методы статистического анализа и стохастического моделирования. Работы Д. Кроузе, Т. Бретерона, Т. Таймре и З. Ботева раскрывают современные направления применения метода Монте-Карло для анализа сложных вероятностных систем. Дальнейшее развитие данных подходов представлено в исследованиях Цз. Ли, посвящённых принципам, методам и прикладным аспектам использования имитационного моделирования Монте-Карло в условиях неопределённости.

Методы исследования операций и оптимизации управленческих решений получили развитие в трудах Ф. Хиллиера и Дж. Либермана, а также У. Уинстона. Авторы рассматривают линейное программирование, теорию массового обслуживания, методы оптимизации и принятия решений как важнейшие инструменты повышения эффективности использования ограниченных ресурсов в хозяйственной деятельности.

Практические аспекты применения цифровых технологий в экономике Узбекистана нашли отражение в работах отечественных исследователей. М.Т. Алимова исследовала современные тенденции развития региональных рынков услуг и туризма, уделяя внимание вопросам повышения эффективности управления на основе современных технологий. Вопросы экономики сферы услуг подробно рассмотрены в учебнике К.Ж. Мирзаева и соавторов, где раскрываются современные механизмы функционирования сервисного сектора. Значение информационных технологий в управлении и образовательной деятельности отражено в исследованиях Т.З. Тешабаева. В свою очередь, Д.Х. Асланова изучала проблемы повышения эффективности деятельности предприятий общественного питания и возможности снижения трудоёмкости производственных процессов.

Проведённый анализ научной литературы показывает, что современные исследования сосредоточены на интеграции методов бизнес-аналитики, математического моделирования, искусственного интеллекта и цифровых платформ управления. Вместе с тем вопросы комплексного применения предиктивной и прескриптивной аналитики, а также выбора оптимальных методов цифрового моделирования для поддержки стратегических управленческих решений остаются актуальным направлением дальнейших научных исследований.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью данной работы является исследование и классификация современных методологии и инструментов принятия решений на основе цифровой трансформации с внедрением прогностических и предписывающих аналитики. На основе обзора существующих научных работ и современных технологий в статье рассматриваются теоретические основы, существующие подходы и инструменты



бизнес-аналитики, классификация, методология и масштабы применения, дается аналитическая оценка действующих подходов к внедрению инструментов предиктивной и прескриптивной аналитики, а также предлагаются конкретные направления их совершенствования. В работе приводятся некоторые методы решения комплекса задач цифровой трансформации платформ принятия управленческих решений путем внедрения математического и цифрового моделирования бизнес-процессов предприятий и отраслей

Автор обоснованно рассматривает цифровую трансформацию не только как внедрение отдельных информационных систем, но и как комплексное изменение подходов к принятию управленческих решений на основе данных, прогностической и предписывающей аналитики.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Принятие решения с применением предписывающей аналитики является мощной методологией принятия решений с системным исследованием различных сценариев исходов принятых альтернативных решений. Вопросы повышения производительности хозяйствующих субъектов в области услуг были широко изучены (Мирзаев (2022), Тешабаев (2017), Алимова (2017)), в частности рынок общественного питания (Арсланова (1992)).

Большинство практических проблем изначально описываются руководством расплывчато и неточно. Поэтому первоочередной задачей является изучение соответствующей системы и разработка четко сформулированной проблемы, которую необходимо рассмотреть. Это включает в себя определение таких вещей, как соответствующие цели, ограничения на то, что можно сделать, взаимосвязи между изучаемой областью и другими областями организации, возможные альтернативные варианты действий, временные рамки для принятия решения и так далее. Этот процесс определения проблемы имеет решающее значение, поскольку он в значительной степени влияет на то, насколько актуальными будут выводы исследования. Трудно извлечь «правильный» ответ из «неправильной» постановки проблемы.

Прежде всего, следует понимать, что цифровая платформа по принятию решений обычно работает в консультативном качестве. Цифровые решения не просто решают проблемы по своему усмотрению, а консультируют руководство, предлагая варианты сценарии решений с их вероятными экономическими ожиданиями. Цифровые инструменты предписывающей аналитики требуют детального технического анализа проблемы, а затем выработки рекомендации руководству. Часто в результатах моделирования и анализа чувствительности указывается ряд альтернатив, которые особенно привлекательны при различных предположениях или в различном диапазоне значений некоторого параметра организационной политики, который может быть оценен только руководством (например, компромисс между затратами и выгодами). Руководству необходимо оценить выводы исследования и его рекомендации, учесть множество нематериальных факторов и принять окончательное решение, основываясь на наилучшем суждении. Следовательно, для выработки адекватных вариантов решений крайне важно определить «правильную» проблемы с точки зрения руководства.

Определение соответствующих целей является очень важным аспектом формулирования проблемы. Устанавливаемая цель должна быть направлена на обеспечение благополучия всей организации, а не только отдельных ее компонентов. Необходимо определить решения, оптимальные для всей организации, а не субоптимальные решения, наилучшие только для одного компонента хозяйствующего субъекта. Поэтому в идеале формулируемые цели должны соответствовать целям всей организации. Однако это не всегда удобно. Многие проблемы касаются в первую очередь лишь части организации, поэтому анализ проблемы станет громоздким, если заявленные цели будут слишком общими, если будут явно учтены все побочные эффекты для остальной части организации. Вместо этого цели, используемые в исследовании, должны быть максимально конкретными, при этом охватывая основные цели лица, принимающего решения, и сохраняя разумную степень согласованности с целями организации более высокого уровня.

Для коммерческих организаций одним из возможных подходов к решению проблемы субоптимизации является использование *максимизации прибыли* в долгосрочной перспективе (с учетом временной стоимости денег) в качестве единственной цели. Прилагательное «долгосрочная перспектива» указывает на то, что эта цель обеспечивает гибкость в рассмотрении деятельности, которая не приносит прибыли немедленно (например, научно-исследовательские и опытно-конструкторские проекты), но должна в конечном итоге принести ее, чтобы быть целесообразной. Такой подход имеет значительные преимущества. Эта цель достаточно конкретна для удобного использования, и в то же время, кажется, достаточно широка, чтобы охватывать основную цель коммерческих организаций.

Однако на практике многие хозяйствующие организации не используют этот подход. Часто руководство ставит перед собой цель получения удовлетворительной прибыли в сочетании с другими задачами, вместо того чтобы сосредоточиться на максимизации прибыли в долгосрочной перспективе.



Как правило, к таким задачам относятся: поддержание стабильной прибыли, увеличение или сохранение доли рынка, диверсификация продукции, поддержание стабильных цен, повышение морального духа сотрудников, сохранение семейного контроля над бизнесом и повышение престижа компании. Достижение этих целей может обеспечить максимизацию прибыли в долгосрочной перспективе, но взаимосвязь может быть достаточно неясной, поэтому включение всех этих целей в одну обобщенную цель может быть нецелесообразным.

Кроме того, следует принять во внимание контекст социальной ответственности, который отличается от мотива получения прибыли. Хозяйствующий субъект в определенном географическом масштабе имеет влияние на пять сторон:

- владельцы (акционеры и т. д.), которые стремятся к росту прибыли (дивиденды, рост стоимости акций и т. д.);
- сотрудники, которые стремятся к стабильной работе с разумной заработной платой;
- клиенты, которые стремятся к надежному продукту по разумной цене;
- поставщики, которые стремятся к честности и разумной цене продажи своих товаров;
- правительство, а следовательно, и государство, которые стремятся к уплате справедливых налогов и учету национальных интересов.

Все эти стороны вносят существенный вклад в деятельность экономической единицы, и организации не следует служить интересам исключительно одной стороны для эксплуатации других. Аналогичным образом, международные корпорации приобретают дополнительные обязательства по соблюдению социально ответственных практик. Таким образом, признавая, что главная цель в принятии решений заключается в получении прибыли, что в конечном итоге приносит пользу всем пяти сторонам, следует отметить, что необходимо также признать его более широкую социальную ответственность.

При построении цифровых платформ принятия решений колоссальное время тратится на сбор соответствующих данных, касающихся проблемы. Большое количество данных обычно необходимо как для получения точного понимания проблемы и предоставления необходимых входных данных для математической модели, разрабатываемой на следующем этапе исследования. Часто большая часть необходимых данных не будет доступна, либо потому что информация никогда не хранилась, либо потому что то, что хранилось, устарело или представлено в неправильной форме. Поэтому часто необходимо установить новую компьютерную систему управления информацией для сбора необходимых данных на постоянной основе и в необходимой форме. Даже при этих усилиях большая часть данных может быть довольно неточной, т. е. приблизительной оценкой, основанной только на обоснованных предположениях или неструктурированной. Как следует, значительное время тратится на повышение точности структуры данных и самих данных.

В связи с широким распространением электронных баз данных и систем электронной записи транзакционных данных, взрывным ростом их количества и размеров в последние годы, главная проблема с данными заключается не в том, что их слишком мало, а в том, что их слишком много. Источники данных могут насчитывать тысячи, а общий объем данных может измеряться гигабайтами или даже терабайтами. В таких условиях поиск особенно важных данных и выявление интересных закономерностей в этих данных может стать непосильной задачей. Одним из новых инструментов цифровой трансформации систем, занимающихся исследованиями принятия решений, является метод, называемый интеллектуальным анализом данных (**data mining**), который решает проблему структурированности и точности данных. Методы интеллектуального анализа данных осуществляют поиск в больших базах данных интересных закономерностей, которые могут привести к полезным решениям.

После определения проблемы, стоящей перед лицом, принимающим решения, следующим этапом является переформулирование этой проблемы в форме, удобной для анализа. Правильный подход в цифровизации и цифровой трансформации принятия решений заключается в построении математической модели на ее основе компьютерной (операционной) модели, которая отражает сущность проблемы. Прежде чем обсуждать, как сформулировать такую модель, мы сначала рассмотрим природу моделей в целом и математических моделей в частности.

Моделирование – как метод решения проблем, возникающих в реальном мире, является эффективным инструментом предписывающей аналитики для принятия решений. Оно применяется, когда прототипирование или экспериментирование с реальной системой являются дорогостоящими или невозможными. Моделирование позволяет оптимизировать системы до их внедрения или оценить характеристики системы до их создания. Моделирование включает в себя процесс отображения объекта из реального мира на ее модель в мире моделей, процесс абстракции, анализ и оптимизацию модели, а также отображение решения обратно на реальную систему. Можно различать аналитические и имитационные модели. В аналитической, или статической, модели результат функционально зависит от входных данных



(ряда дискретных или стохастических параметров); такую модель можно реализовать в электронной таблице. Однако аналитическое решение не всегда существует или его может быть очень трудно найти. В этом случае может быть применено имитационное статическое или динамическое моделирование. Имитационная модель может рассматриваться как набор правил (например, уравнений, блок-схем, конечных автоматов, клеточных автоматов), определяющих, как будет изменяться моделируемая система в будущем, учитывая ее текущее состояние. Моделирование – это процесс «выполнения» модели, в ходе которого модель проходит через (дискретные или непрерывные) изменения состояния во времени. В целом, для сложных задач, где важна динамика времени, моделирование методом имитации является лучшим решением.

Уровни абстракции в цифровом моделировании. Диапазон задач, которые эффективно решаются с помощью цифрового моделирования, довольно широкий. Задачи расположены в масштабе относительно типичного уровня абстракции соответствующих моделей. На детальном уровне мы имеем так называемое «физическое» моделирование, где важны отдельные объекты с точными размерами, расстояниями, скоростями и временными параметрами. Моделирование движения на микроуровне расположено в самом низу этой диаграммы (рисунок 1). Модели заводских цехов с конвейерами и станциями расположены немного выше, поскольку там обычно отходят от точных физических траекторий и используются усредненные временные параметры. То же самое относится к моделям складской логистики с хранилищами, транспортными средствами, операциями погрузки и разгрузки (Borshchev & Filippov (2004)).

Моделирование бизнес-процессов и сервисных систем обычно работает с расписаниями и временными рамками, хотя иногда присутствует и физическое перемещение, например, в отделении неотложной помощи учитывается планировка помещения.

Моделирование сетей и транспорта рассматривает расписания, задержки, пропускную способность и время погрузки/разгрузки/обработки. Макроуровневые модели трафика и транспорта могут не учитывать отдельные транспортные средства или пакеты, вместо этого они используют их объемы. Цепочки поставок моделируются на очень разных уровнях абстракции, поэтому этот элемент может быть размещен в любом месте диапазона от среднего до высокого уровня абстракции.

Проблемы на верхнем уровне диаграммы обычно рассматриваются с точки зрения агрегированных значений, глобальных обратных связей, тенденций и т. д. Отдельные элементы, такие как люди, детали, продукты, транспортные средства, животные, дома, никогда не рассматриваются там (Delen & Demirkan (2013)). Модель динамики системы на этом уровне обычно основана на рассуждениях типа «если количество рабочих мест увеличится, то мы увидим увеличение миграции» (Рис. 1).



Рисунок 1. Применение цифровых моделей по уровням абстракции

Основные подходы (парадигмы) в цифровом моделировании показаны в одном масштабе на рисунке 2: системная динамика (System Dynamics - SD), «дискретно-событийная» (Discrete Event - DE) и агентно-ориентированная (Agent-Based - AB). SD и DE являются традиционными, AB – относительно новым методом имитационного моделирования (Delen & Demirkan (2013)). Существует также область динамических систем (Dynamic Systems - DS), но она несколько обособлена, поскольку используется для моделирования

и проектирования «физических» систем. Технически, SD и DS в основном работают с непрерывными процессами, тогда как DE и AB работают в основном в дискретном времени, т.е. перескакивают от одного события к другому.

Динамические системы или «физическое» моделирование находятся в нижней части диаграммы. Системная динамика, работающая с агрегатами, расположена на самом высоком уровне абстракции. Дискретно-событийное моделирование используется на низком и среднем уровнях абстракции. Что касается агентно-ориентированного моделирования, эта технология используется на всех уровнях абстракции. Агенты могут моделировать объекты самой разной природы и масштаба: на «физическом» уровне агентами могут быть, например, пешеходы, автомобили или роботы, на среднем уровне – клиенты, на самом высоком уровне – конкурирующие компании.

Для моделирования системы необходимо понимать концепцию системы и границы системы. Система определяется как группа объектов, объединенных определенным взаимодействием или взаимозависимостью для достижения определенной цели. Примером может служить производственная система, производящая автомобили. Машины, комплектующие и рабочие работают совместно вдоль сборочной линии для производства высококачественного автомобиля. Система часто подвержена изменениям, происходящим вне системы. Такие изменения, как говорят, происходят в *среде системы* (Gordon (1978)). При моделировании систем необходимо определить *границу* между системой и окружающей ее средой. Это решение может зависеть от цели исследования (Рис. 2).

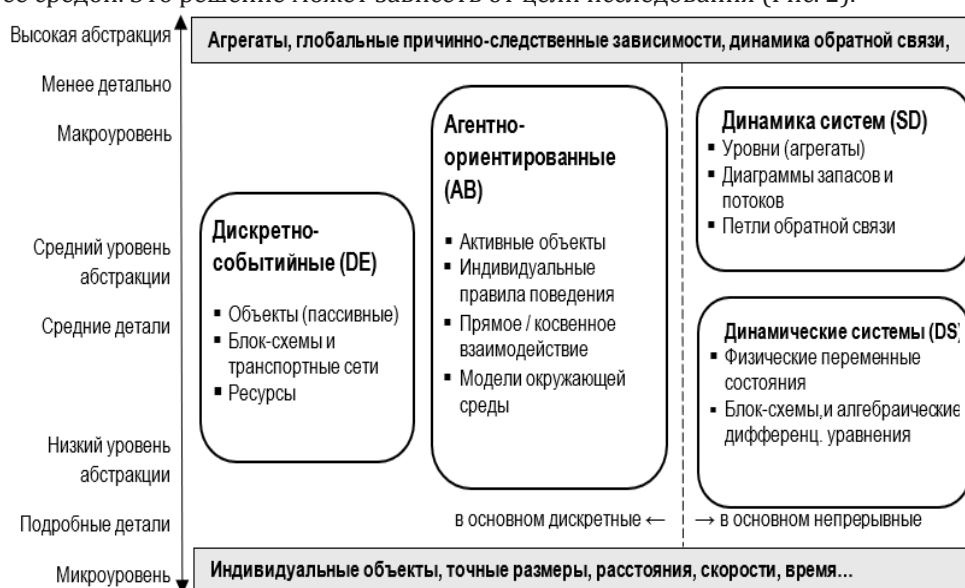


Рисунок 2. Методы цифрового моделирования по уровням абстракции¹

Объект – это элемент системы, представляющий интерес в системе. *Атрибут* – это свойство объекта. Действие представляет собой временной период заданной длины. Если изучается банк, то клиентами могут быть одни из сущностей, балансом на их расчетных счетах – атрибут, а внесением депозитов – действие. Совокупность объектов, составляющих систему для одного исследования, может быть лишь подмножеством общей системы для другого исследования (Law (2007)).

Состояние системы определяется как совокупность переменных, необходимых для описания системы в любой момент времени относительно целей исследования. В исследовании банка возможными переменными состояниями являются: количество занятых кассиров, количество клиентов, ожидающих в очереди или обслуживаемых, и время прибытия следующего клиента. Событие определяется как мгновенное событие, которое может изменить состояние системы. Термин «эндогенный» используется для описания действий и событий, происходящих внутри системы, а термин «экзогенный» – для описания действий и событий в окружающей среде, которые влияют на систему. В исследовании банка прибытие клиента является экзогенным событием, а завершение обслуживания клиента – эндогенным событием.

Системы можно разделить на дискретные и непрерывные. «На практике лишь немногие системы являются полностью дискретными или непрерывными, но поскольку для большинства систем преобладает один тип изменений, обычно можно классифицировать систему как дискретную или непрерывную»

1 Источник: разработано автором.



(Law (2007)). Дискретная система – это система, в которой переменная(ые) состояния изменяется(ются) только в дискретном наборе точек во времени. Банк является примером дискретной системы: переменная состояния, количество клиентов в банке, изменяется только тогда, когда приходит клиент или когда услуга, предоставленная клиенту, завершена.

Непрерывная система — это система, в которой переменные состояния изменяются непрерывно во времени.

Модель определяется как представление системы с целью ее изучения. Для большинства исследований достаточно учитывать только те аспекты системы, которые влияют на изучаемую проблему. Эти аспекты представлены в модели системы; модель, по определению, является упрощением системы. С другой стороны, модель должна быть достаточно подробной, чтобы позволить сделать обоснованные выводы о реальной системе. В зависимости от цели исследования могут потребоваться различные модели одной и той же системы.

Подобно тому, как компоненты системы включают сущности, атрибуты и действия, так и модели представляются. Однако модель содержит только те компоненты, которые имеют отношение к исследованию.

Модели можно классифицировать как математические или физические. Математическая модель использует символическую нотацию и математические уравнения для представления системы. Имитационная модель – это особый тип математической модели системы.

Цифровые модели могут быть дополнительно классифицированы как статические или динамические, детерминированные или стохастические, и дискретные или непрерывные. Статическая модель моделирования, иногда называемая моделированием Монте-Карло, представляет систему в определенный момент времени. Динамические цифровые модели представляют системы по мере их изменения во времени.

Цифровые модели, не содержащие случайных переменных, классифицируются как детерминированные. Детерминированные модели имеют известный набор входных данных, который приведет к уникальному набору выходных данных.

Стохастическая цифровая модель имеет одну или несколько случайных переменных в качестве входных данных. Случайные входные данные приводят к случайным выходным данным. Поскольку выходные данные являются случайными, их можно рассматривать только как оценки истинных характеристик модели. Таким образом, в стохастическом моделировании выходные показатели должны рассматриваться как статистические оценки истинных характеристик системы.

Для эффективного принятия решения путем моделирования статических систем является крайне важным определение независимой, одинаково распределенной переменной (ОП – independently and identically distributed), поскольку она широко используется в теориях вероятности, таких как теория больших чисел (law of large numbers) и центральная предельная теорема (central limit theorem). Предположение о том, что переменная является ОП, упрощает ситуации, облегчает построение моделей и выполнение вычислений, а также обеспечивает прочную основу для многих других приложений в моделировании методом Монте-Карло, таких как случайная выборка и метод Монте-Карло с цепями Маркова (Markov Chain Monte Carlo). Данные при обследовании объектов могут быть:

Точные значения входной переменной, что переводит цифровую модель в класс детерминистической модели. Точные цифры также могут быть обследованы, в случае сбора эндогенных данных автоматизированных систем с фиксированным временем или значением той или иной входной переменной величины.

Среднее значение входных данных могут применяться как точечная оценка (point estimate) исследуемой входной величины на основе субъективной экспертной оценки, когда сбор точных входных данных невозможен.

Интервальная оценка входных данных также часто основывается на субъективной экспертной оценке входных значений системы с одинаковой вероятностью распределения случайных чисел в определенном интервале. При этом, в цифровом моделировании интервальное значение входных данных заменяется равномерным распределением случайных чисел в интервале $(\alpha \div \beta)$, что описано ниже.

Треугольная оценка является более точной оценкой входных переменных, чем интервальная оценка, что может быть основано на экспертном мнении (минимальное значение, более вероятное значение и максимальное значение) или на результаты подгонки выборки обследованных случайных чисел к треугольному распределению путем определения минимальной величины, среднего значения или мода случайных чисел, и максимального значения.

Определенное распределение входных данных может быть исследовано при наличии конкретных данных, собранных техническими или электронными системами сбора входных данных. Подобные

стохастические данные могут быть успешно анализированы и заменены определенным типом распределения случайных чисел для более аккуратной имитационной модели процесса.

Определение распределения случайных чисел. Кратко обсудим процедуру определения типа распределения случайных чисел, используемых для имитационного моделирования, так называемую подгонку распределения. При наличии исторических данных, используемого в качестве определенного входного параметра имитационной модели, применяются соответствующие численные методы для подгонки данных к одному теоретическому дискретному или непрерывному распределению. Методы подгонки позволяют определить наиболее подходящее вероятностное распределение для заданного набора данных.

Каждое вероятностное распределение может быть однозначно идентифицировано своим набором параметров, поэтому подгонка распределения по сути то же самое, что и поиск параметров распределения, которое бы генерировало подобные случайные данные. С этой точки зрения, методы подгонки представляют собой не что иное, как задачи нелинейной оптимизации, где переменные являются параметрами распределений. При этом необходимо помнить, что не все подборки случайных чисел могут соответствовать определенному типу распределения. В случае, когда процедура подгонки распределения случайных чисел не определяет определенную общеизвестный тип распределения, то следует использовать эмпирические распределения, определенные на основе частоты распределения, для генерации случайных чисел для имитационного моделирования.

Статическое моделирование Монте-Карло. Обобщенный вид статической имитационной модели можно определить следующим образом: , где входные переменные и выходные переменные . Каждая входная переменная x_i ожидаемо имеет характеристику одинаково распределенной переменной с определенным случайным распределением или дискретную величину. При этом, необходимо учесть, что в случае, когда все переменные x_i имеют дискретную величину, статическая модель престаает быть стохастической. Также в практической реализации статистической модели Монте-Карло рекомендуется, при дискретной величине одной и нескольких входных переменных, следует внедрить эти переменные в математическую модель в качестве коэффициента. Диаметрально, при определении стохастической природы параметров математической модели, следует перевести этот параметр в состав входных переменных.

Выходные переменные y_j также являются стохастической переменной с определенным распределением. Статическое моделирование относится к классу компьютерных алгоритмов. Эти алгоритмы используются для моделирования вероятности различных исходов, связанных с прогнозированием случайных процессов, в которых присутствует случайная составляющая, которую сложно определить аналитическим методом (Li (2025)). Такие случаи часто возникают из-за сложности случайных величин, что делает традиционные детерминированные подходы недостаточными и сложными в реализации; в других случаях требуется параметр генеральной совокупности, например, ожидаемое значение μ , но его невозможно найти напрямую, поэтому для выводов относительно μ используется выборочная статистика с оценкой .

В общем, статическое моделирование представляет собой виртуальное моделирование, в котором повторяющиеся случайные выборки генерируются с помощью алгоритма из определенного распределения вероятностей, а затем проводится анализ результатов для использования в статистических выводах.

Цель любого использования метода Монте-Карло заключается в моделировании реальной системы, которую невозможно проанализировать иным способом с помощью традиционного детерминированного или аналитического подхода; моделирование методом Монте-Карло начинается с построения детерминированной модели, которая точно соответствует реальному сценарию. В отличие от решения уравнений в замкнутой форме, метод Монте-Карло предоставляет статистический подход к оценке значения, которое обычно точно соответствует истинному значению, поскольку все повторные выборки или большие выборочные данные подчиняются закону больших чисел и другим методам статистического вывода (Kroese et al (2014)).

Метод Монте-Карло обычно включает три основных этапа: выборку, оценку и анализ данных/выводы. Выборка включает в себя взятие повторных независимых случайных выборок из определенной популяции с распределением вероятностей. Там, используя выборочные статистические данные, метод Монте-Карло предоставляет оценку числового значения интересующей случайной величины, которая затем может быть использована для получения информации о моделируемой системе путем анализа выборочных данных.

Цифровое моделирование дискретно-событийных систем. Моделирование дискретно-событийных систем – это моделирование систем, в которых переменная состояния изменяется только в дискретном наборе точек во времени. Модели моделирования анализируются численными, а не аналитическими методами. Например, дифференциальное исчисление может быть использовано для вычисления политики



минимизации затрат для некоторых моделей управления запасами. Численные методы используют вычислительные процедуры для «решения» математических моделей. В случае моделей моделирования, которые используют численные методы, модели «запускаются», а не решаются – то есть, на основе предположений модели генерируется искусственная история системы, и собираются наблюдения для анализа и оценки истинных показателей производительности системы. Модели моделирования реального мира довольно велики, и объем хранимых и обрабатываемых данных огромен, поэтому такие запуски обычно проводятся с помощью компьютера.

В дискретно-событийном моделировании система описывается с точки зрения ее состояния в каждый момент времени – объектов, проходящих через систему, и объектов, представляющих ресурсы системы, а также действий и событий, вызывающих изменение состояния системы. Дискретно-событийные модели подходят для тех систем, для которых изменения состояния системы происходят только в дискретные моменты времени.

Дискретно-событийное моделирование является имитационным моделированием системы во времени, все изменения состояния которой происходят в дискретные моменты времени – в те моменты, когда происходит событие. Механизм продвижения времени моделирования и обеспечения правильного хронологического порядка всех событий основан на списке будущих событий (СБС). Этот список содержит все уведомления о событиях, запланированных на будущее время. Планирование будущего события означает, что в момент начала действия вычисляется его продолжительность или выбирается выборка из статистического распределения; и что событие окончания действия вместе с его временем помещается в список будущих событий. В реальном мире большинство будущих событий не планируются, а просто происходят – например, случайные поломки или случайные прибытия. В модели такие случайные события представлены окончанием некоторого действия, которое, в свою очередь, представлено статистическим распределением.

Зная эволюцию системы, можно определить ее свойства: например, достигает ли она стационарного состояния, является ли она циклической и т.д., и оценить соответствующие показатели эффективности (например, значения в стационарном состоянии, период цикла и т. д.). Таким образом, основная цель моделирования – эффективный метод генерации эволюций и оценки свойств и показателей эффективности системы.

В общем случае существует набор системных параметров, называемых входными параметрами, которые определяют эволюцию системы, а следовательно, ее свойства и показатели производительности. Например, входными параметрами для системы массового обслуживания являются требования к обслуживанию клиентов и время прибытия. Как правило, следует описать входные параметры системы стохастически (или вероятностно), а не детерминистически, т.е. вместо того, чтобы детерминистически фиксировать значения входных параметров, мы делаем их случайными переменными, принимающими значения из некоторой области с некоторым распределением вероятностей. Каждый набор значений входных параметров приводит к уникальной эволюции. Цель состоит в том, чтобы получить показатели производительности, усредненные по всем таким эволюциям.

Введение случайных переменных обусловлено двумя причинами. Во-первых, для большинства реальных систем не бывает точных характеристик входных параметров. Следовательно, использование вероятностных входных данных делает результаты анализа более надежными. Во-вторых, даже если имеется точная характеристика входных параметров, их учет часто оказывается слишком дорогостоящим или аналитически невыполнимым. Более того, учет точных характеристик входных параметров ведется в ретроспективе и любое перспективное значение имеет стохастический характер.

Очень часто дискретные цифровые модели разрабатываются в соответствии с теорией массового обслуживания (очередей) (Hillier & Liberman (2015), Winston (2004)).

Системная динамика, является «изучением характеристик обратной связи в промышленной деятельности, чтобы показать, как организационная структура, усиление (в политике) и временные задержки (в решениях и действиях) взаимодействуют, влияя на успех предприятия» (Forrester (1961)).

Следует предположить, что цифровые модели системной динамики включают в себя некоторые элементы поведения при принятии решений, в отличие от моделей чисто физических процессов, таких как модели мировых погодных систем или динамики климата. Такие модели системной динамики позволяют проводить сравнения с агентно-ориентированными моделями.

Диапазон применения системной динамики включает также городские, социальные, экологические типы систем. В системной динамике реальные процессы представлены в терминах запасов (например, материалов, знаний, людей, денег), потоков между этими запасами и информации, которая определяет значения потоков. Системная динамика абстрагируется от отдельных событий и сущностей и принимает агрегированный подход, концентрируясь на политике.

Агентно-ориентированное моделирование. С применением агентно-ориентированного моделирования ведется множество различных разработок в самых разных дисциплинах, таких как искусственный интеллект, наука о сложности, теория игр и т. д. В этой области нет общепринятых определений агентно-ориентированного моделирования, и продолжается спор о том, какими свойствами должен обладать объект, чтобы конкретно быть «агентом»: проактивность и реактивность, пространственное восприятие, способность к обучению, социальные способности, «интеллект» и т. д. (Schieritz & Milling (2003)).

Следует подчеркнуть одну особенность агентно-ориентированных моделей – они, по сути, децентрализованы. По сравнению с моделями SD или DES, в агентно-ориентированной модели нет места, где определялось бы глобальное поведение или динамики системы. Вместо этого, модель определяет поведение объекта на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает в результате взаимодействия множества (десятков, сотен, тысяч, миллионов) агентов - индивидов, каждый из которых следует своим собственным правилам поведения, живет вместе в определенной среде и общается друг с другом и с окружающей средой. Именно поэтому АВ-моделирование также называется моделированием «снизу вверх».

Учитывая преимущества и недостатки, можно заключить, что ABS-модели особенно подходят для систем, обладающих следующими характеристиками (Hare & Deadman (2004)):

- системы, динамика которых основана на гибком и локальном взаимодействии. Учет переменных размеров популяции, структур и взаимодействий может быть затруднен в других парадигмах моделирования;
- системы, требующие представления гетерогенности не только в отношении состояний, но и правил поведения. Это может быть сложно смоделировать в парадигмах, предполагающих однородность;
- многоуровневые системы, требующие наблюдения на нескольких уровнях, особенно когда между ними нет связи. Это относится к новым возникающим явлениям;
- системы, где принятие решений происходит на разных уровнях агрегации. Принятие решений на микроуровне касается поведения отдельных особей, в то время как принятие решений на более высоком уровне осуществляется каким-либо регулирующим органом или субъектом. Петли обратной связи влияют как на отдельные особи, так и на агрегированные уровни;
- системы, включающие процессы обучения или эволюции на индивидуальном и популяционном уровнях;
- системы, учитывающие интеллектуальное поведение человека, такие как социотехнические системы, где необходимо моделировать гибкие задачи, выполняемые командой или группой;
- системы, в которых предположения, необходимые для моделирования на основе равновесия, слишком строги. Такие предположения могут относиться к однородности пространства, единообразному принятию решений, совершенной информации, рациональности и другим. Агентно-ориентированное цифровое моделирование «могут привести к отрыву индивидуальной рациональности от макроскопического равновесия» (Epstein (2007));
- системы, в которых фокус делается не на стационарном равновесии, а на явлениях и поведении, которые к нему приводят. Таким образом, необходимо анализировать переходную динамику системы или агентов (Kluegl & Bazzan (2012)).

Модели SD и ABS можно трансформировать на основе взаимных связей с применением доказанной теоремы эквивалентности (Masal (2006)).

Методы оптимизации принимаемых решений. При принятии решений часто возникает проблема эффективного использования ограниченных ресурсов для достижения наилучшего экономического результата путем максимизации доходов или минимизации расходов хозяйственной деятельности. Данную проблему можно эффективно решить внедрением математических моделей проблемы на основе компьютерных приложений.

Модели линейного программирования, встречающиеся на практике, обычно очень большие, содержащие сотни, тысячи или даже миллионы функциональных ограничений и переменных решений. В таких случаях может представлять интерес множество вариаций базовой модели для рассмотрения различных сценариев. Поэтому, после нахождения оптимального решения для одной версии модели линейного программирования, часто приходится многократно решать задачу для получения альтернативных версий модели. На этапе отладки модели всегда приходится решать задачу несколько раз и обычно приходится делать это много раз и на более поздних этапах анализа после нахождения оптимального решения.

В настоящее время широко доступны компьютерное программное обеспечение для решения задач оптимизации, предназначенных практически для всех современных компьютерных систем. Это ПО обычно



является частью сложного программного пакета для математического программирования, включающего в себя многие процедуры, включая те, которые используются для анализа после оптимизации.

Эти производственные компьютерные модели могут не следовать точно ни алгебраической, ни табличной форме симплекс-метода. Эти формы могут быть значительно упрощены для цифровой реализации. Поэтому в цифровой трансформации решения модели линейного программирования используется матричная форма, которая особенно хорошо подходит для вычислительных процедур. Эта форма выполняет те же самые действия, что и алгебраическая или табличная форма, но при этом вычисляет и хранит только те числа, которые фактически необходимы для текущей итерации, а затем передает необходимые данные в более компактной форме.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В статье рассмотрены теоретические основы, существующие подходы и инструменты бизнес-аналитики, ее эволюция, классификация, методология и масштабы применения, дается аналитическая оценка действующих подходов к внедрению инструментов предиктивной и прескриптивной аналитики, а также предлагаются конкретные направления их совершенствования. В работе приведены классификация примеров и методов решения комплекса задач цифровой трансформации в качестве платформ принятия управленческих решений путем внедрения математического и цифрового моделирования бизнес-процессов предприятий и отраслей. Представленные классификации задач и методов бизнес-аналитики на сравнительной пространстве уровня абстракции и вычислительной сложности могут быть эффективно использованы при планировании создания и развития цифровых систем принятия управленческих решений.

Краткое обсуждения типов и задач цифрового моделирования описываемые могут быть также полезны при планировании моделирования больших данных и выборе метода математического моделирования для создания и(или) дальнейшего усовершенствования цифровых систем принятия стратегических решений.

Список использованной литературы:

1. Borshchev A., Filippov A. From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools // The 22nd International Conference of the System Dynamics Society, July 25 - 29, 2004, Oxford, England.
2. Delen D., Demirkan, H., Data, information and analytics as services // Decision Support Systems, 2013, 55, 359–363.
3. Epstein J. M., Generative Social Science: Studies in Agent-Based Computational Modeling. Princeton, 2007, NJ: Princeton University Press.
4. Gordon, G., System Simulation, 2d ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1978.
5. Forrester J., Industrial Dynamics. Cambridge, MA: MIT Press, 1961.
6. Hare M., Deadman P. Further Towards a Taxonomy of Agent-Based Simulation Models in Environmental Management // Mathematics and Computer in Simulation, 2004, vol.64(1): p.25–40
7. Hillier F., Lieberman G., Introduction to Operations Research, 3rd edition, McGraw-Hill International Edition, 2015
8. Klügl F., Bazzan A., Agent-Based Modeling and Simulation // AI Magazine, September 2012, p.29-40.
9. Kroese D. P., Brereton T., Taimre T., Botev Z. I., Why the Monte Carlo method is so important today // WIREs Computational Statistics, 2014, 6(6): 386–392.
10. Law A. M., Simulation Modeling and Analysis, 4th ed., McGraw–Hill, New York, 2007.
11. Li J., Study of Monte Carlo Simulation: Principles, Methods, and Applications // Highlights in Science, Engineering and Technology, AMMP 2025, Volume 140, p.42-51.
12. Macal C., Methodological comparison of agent-based and system dynamics simulation // Proceedings of 2006 North American Association for Computational Social and Organizational Science (NAACSOS) Conference, South Bend, IN, June 22–24 2006.
13. Schieritz N., Milling P., Modeling the Forest or Modeling the Trees - A Comparison of System Dynamics and Agent-Based Simulation, // The 21st International Conference of the System Dynamics Society, 2003, New York, USA.
14. Winston W., Operations Research: Applications and Algorithms, 4th edition, Cengage, 2004
15. Алимова М.Т. Худудий туризм бозорининг ривожланиш хусусиятлари ва тенденциялари (Самарқанд вилояти мисолида). Докторлик диссертацияси автореферати. Самарқанд, 2017 й.
16. Асланова Д.Х., Трудоёмкость продукции общественного питания и резервы её снижения: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. - Киев. 1992 – С. 20.
17. Мирзаев Қ.Ж. ва б. Хизматлар соҳаси иқтисодиёти [Матн]: дарслик / СамИСИ. – Самарқанд: “STEP-SEL” МЧЖ нашриёти, 2023. – 418 б.
18. Тешабоев Т.З. Таълим тизимида замонавий ахборот технологиялари // Birja-Эксперт илмий-амалий, иқтисодий ойлик журнали,-Т., 2012. №9. – 51-52-б. (08.00.00; №3).

muhandislik

& iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 6

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100