

ResearchGate

Google Scholar

I<sup>WORLD</sup>  
I<sup>of</sup>  
JOURNALS

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
LIBRARY.RU



ISSN

e-ISSN(Online) 2709-1201



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

**ENDLESS LIGHT IN SCIENCE**

**NO 4**

**30 АПРЕЛЯ 2026**

**Астана, Казахстан**



[lrc-els.com](http://lrc-els.com)

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»**  
**INTERNATIONAL SCIENTIFIC JOURNAL «ENDLESS LIGHT IN SCIENCE»**



**Main editor:** G. Shulenbaev

**Editorial colleague:**

B. Kuspanova  
Sh Abyhanova

**International editorial board:**

R. Stepanov (Russia)  
T. Khushruz (Uzbekistan)  
A. Azizbek (Uzbekistan)  
F. Doflat (Azerbaijan)

International scientific journal «Endless Light in Science», includes reports of scientists, students, undergraduates and school teachers from different countries (Kazakhstan, Tajikistan, Azerbaijan, Russia, Uzbekistan, China, Turkey, Belarus, Kyrgyzstan, Moldova, Turkmenistan, Georgia, Bulgaria, Mongolia). The materials in the collection will be of interest to the scientific community for further integration of science and education.

Международный научный журнал «Endless Light in Science», включают доклады учёных, студентов, магистрантов и учителей школ из разных стран (Казахстан, Таджикистан, Азербайджан, Россия, Узбекистан, Китай, Турция, Беларусь, Кыргызстан, Молдавия, Туркменистан, Грузия, Болгария, Монголия). Материалы сборника будут интересны научной общественности для дальнейшей интеграции науки и образования.

30 АПРЕЛЯ 2026 г.  
Астана, Казахстан

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150480>

УДК 004.738.5:519.83:005

## АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ ТЕОРИЕЙ ИГР В ИТ МЕНЕДЖМЕНТЕ

**НАДИРОВ ТАМЕРЛАН АЛЬБЕРТОВИЧ**

Магистрант Казахского национального университета технологий и бизнеса (КАЗУТБ)

Научный руководитель – PhD, ассистент-профессор **ЛАМАШЕВА Ж. Б.**  
Астана, Казахстан

---

**Аннотация.** Социальные сети внутри ИТ-организаций редко выступают как пассивные структуры. Сотрудники, команды и подразделения принимают стратегические решения о том, как распространять информацию, формировать альянсы или ограничивать доступ к знаниям, и именно эти действия в совокупности определяют результаты работы организации. В работе применяется теория сетевых игр для описания подобных процессов. Построена модель сетевой игры, в которой агенты максимизируют индивидуальные выигрыши с учётом влияния соседей, и выведены условия равновесия на основе функций наилучшего ответа. Результаты моделирования на синтетических сетях, отражающих типичные структуры ИТ-организаций, показывают, что ключевую роль играют центральность и плотность сети. Умеренно плотные сети и структуры типа *small-world* обеспечивают наиболее устойчивую кооперацию, тогда как модульные «силосные» сети демонстрируют минимальное совокупное благосостояние, на 23% ниже по сравнению с *small-world*. Полученные выводы дают практические ориентиры для ИТ-менеджмента при проектировании коммуникационных структур.

**Ключевые слова:** теория игр, анализ социальных сетей, ИТ-менеджмент, равновесие Нэша, сетевые игры, организационное поведение, обмен информацией

---

### Введение

Управление потоками информации внутри ИТ-организаций оказывается сложнее, чем выглядит формально. На уровне документов линии подчинения и проектные структуры задают схемы взаимодействия. В реальной работе сотрудники формируют неформальные связи, выбирают, когда делиться знаниями, и ориентируются на поведение коллег. Такие процессы нередко определяют, будет ли проект завершён в срок, насколько быстро выявляются критические ошибки и как проходит организационные изменения. Исследование социальных сетей в организациях имеет длительную историю. Karunakaran, Orlikowski и Scott показали, что обсуждения в социальных медиа способны менять механизмы подотчётности так, как это не предусмотрено формальными структурами управления [7]. Одновременно ускоренная цифровизация, в том числе в Казахстане, приводит к появлению новых задач управления ИТ-командами, работающими в условиях усложняющихся цифровых экосистем [2, 3, 4]. Инструменты искусственного интеллекта трансформируют процессы управления проектами [5, 6], однако вопрос о том, каким образом участники сети принимают решения о сотрудничестве или конкуренции, остаётся недостаточно разработанным в исследованиях по ИТ-менеджменту.

Теория игр даёт удобный инструмент для анализа таких процессов. В рамках сетевых игр каждый участник рассматривается как рациональный агент, чьё решение зависит от действий соседей в сети. Parise и Ozdaglar предложили детальный анализ равновесий и механизмов воздействия в крупных сетевых играх [10]. Более поздние исследования распространяют этот подход на задачи согласования решений [11] и на процессы распространения дезинформации [9]. При этом социальные предпочтения, отражающие степень учёта интересов других участников, взаимодействуют со структурой сети сложным

образом [8]. Уровень цифровой грамотности и институциональная готовность также влияют на характер этих взаимодействий [1, 2].

Несмотря на накопленные результаты, применение теории сетевых игр к ИТ-менеджменту остаётся ограниченным. Большинство моделей разработано для финансовых или политических систем. ИТ-организации имеют специфические характеристики, среди них проектный формат работы, изменяемые границы команд, различия в уровне экспертизы и наличие нескольких параллельных каналов коммуникации. В условиях цифровой трансформации в странах Центральной Азии добавляется ещё один фактор, связанный с сочетанием формальных и неформальных каналов взаимодействия [2, 4].

Работа направлена на устранение этого пробела. Предлагается модель сетевой игры, адаптированная к условиям ИТ-организаций, выводятся условия равновесия и проводится моделирование для типовых сетевых структур, характерных для средних ИТ-компаний. Исследовательский вопрос формулируется следующим образом: при каких характеристиках сети взаимодействие ИТ-специалистов приводит к устойчивым кооперативным равновесиям и какие управленческие воздействия позволяют приблизить систему к таким состояниям.

### Методы

Построение модели. ИТ-организация представлена в виде неориентированного взвешенного графа  $G = (V, E, W)$ , где  $V$  - множество из  $n$  агентов, то есть сотрудников или команд,  $E$  - множество рёбер, отражающих коммуникационные связи, а  $W$  - матрица весов взаимодействия, показывающая частоту и интенсивность контактов между парами агентов.

Каждый агент  $i \in V$  выбирает действие  $x_i \in [0, 1]$ , которое интерпретируется как уровень усилий по обмену информацией. Функция выигрыша задаётся следующим образом:

$$u_i(x) = b_i \cdot x_i - (1/2) \cdot x_i^2 + \delta \cdot \sum_{j \in N(i)} w_{ij} \cdot x_i \cdot x_j - c_i \cdot x_i$$

где  $b_i$  отражает внутреннюю выгоду агента  $i$  от участия,  $\delta > 0$  задаёт степень взаимодополняемости,  $N(i)$  обозначает множество соседей, а  $c_i$  соответствует издержкам на обмен информацией. Такая постановка опирается на линейно-квадратичную модель сетевых игр [10], для которой при выполнении стандартных спектральных условий на матрицу  $W$  гарантируются существование и единственность равновесия Нэша.

Вывод равновесия. Используя условие первого порядка и преобразуя выражение, получаем функцию наилучшего ответа:

$$x_i^* = (b_i - c_i) + \delta \cdot \sum_{j \in N(i)} w_{ij} \cdot x_j^*$$

В матричном виде это записывается как:  $x^* = (I - \delta \cdot W)^{-1} \cdot (b - c)$ . Единственность равновесия обеспечивается при условии  $\delta \cdot \rho(W) < 1$ . Строки матрицы  $(I - \delta W)^{-1}$  соответствуют вектору центральности Катца–Боначика, поэтому положение агента в сети напрямую связано с его равновесным уровнем активности [10, 11].

Социальные предпочтения и учёт дезинформации. Следуя Rezaei и др. [8], базовая модель дополняется параметрами социальных предпочтений:

$$u_i^s(x) = u_i(x) + \sigma_i \cdot \sum_{j \in N(i)} w_{ij} \cdot u_j(x),$$

где  $\sigma_i \geq 0$  отражает степень, в которой агент  $i$  учитывает полезность своих соседей. Дополнительно рассматривается двухэтапная игра по аналогии с Hsu и др. [9], в которой сначала принимается решение об избирательном раскрытии информации, после чего разыгрывается основная игра обмена информацией.

Дизайн моделирования. Модель проверялась на четырёх типах сетевых структур при  $n = 50$  узлах и среднем числе связей  $k = 4$ :

- (1) случайный граф Эрёша–Реньи,
- (2) безмасштабный граф Барабаши–Альберта,
- (3) сеть типа small-world по Уоттсу–Строгатцу,
- (4) модульная сеть из четырёх сообществ по 12–13 агентов, имитирующих «силосную» структуру подразделений.

Параметры задавались следующим образом:

$$b_i \sim U[0.5, 1.5],$$

$$c_i \sim U[0.1, 0.5],$$

$$\delta \in \{0.05, 0.10, 0.15, 0.20\},$$

$$\sigma_i \in \{0, 0.1, 0.3\}.$$

Каждая конфигурация моделировалась 500 раз.

### Результаты

Совокупное благосостояние в зависимости от топологии сети. Уровни обмена информацией в равновесии Нэша возрастали с увеличением  $\delta$  и с ростом центральности агентов во всех рассмотренных конфигурациях. В таблице 1 приведены средние значения совокупного благосостояния  $\Sigma u_i(x^*)$ , рассчитанные по 500 прогонов для каждой комбинации параметров при  $\sigma = 0$ , то есть без учёта социальных предпочтений.

Таблица 1. Среднее совокупное благосостояние  $\Sigma u_i(x^*)$  в зависимости от топологии сети и  $\delta$  ( $\sigma = 0$ ,  $n = 50$ , 500 прогонов).

Топология сети	$\delta = 0.05$	$\delta = 0.10$	$\delta = 0.15$	$\delta = 0.20$
Случайная (Erdős–Rényi)	18.4	21.7	25.3	29.1
Безмасштабная (Barabási–Albert)	22.1	27.6	33.4	38.8
Small-world (Watts–Strogatz)	24.0	30.2	36.9	42.1
Модульная (силосная)	14.8	16.9	19.4	22.3

*Примечание.* Все значения представляют собой средние уровни благосостояния, полученные по 500 прогонам Монте-Карло. Стандартное отклонение в каждой ячейке не превышает 3.2.

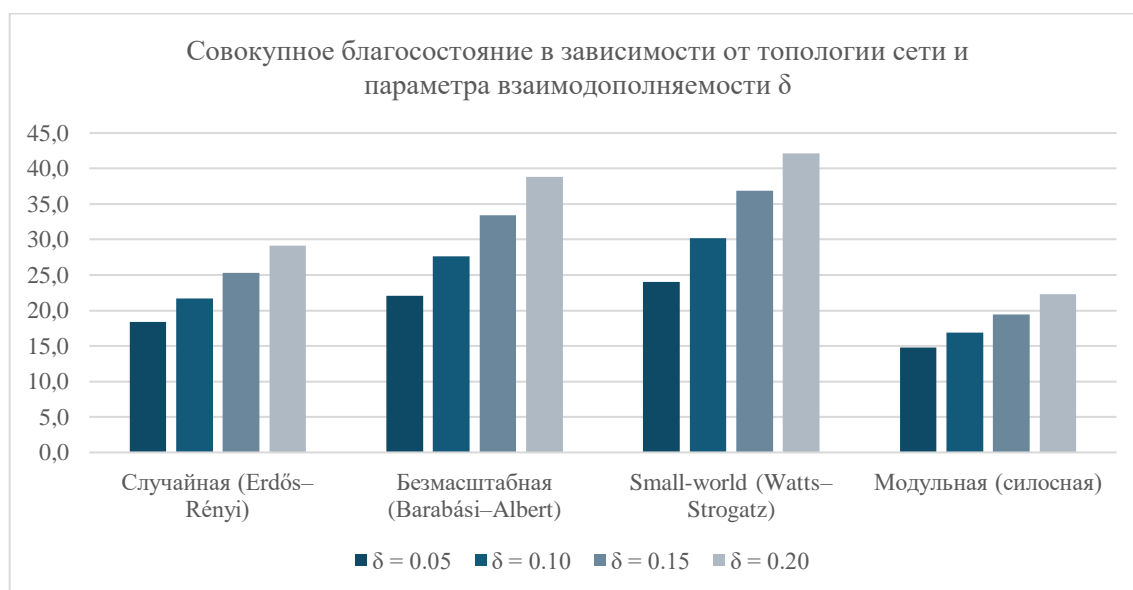


Рисунок 1. Совокупное благосостояние в зависимости от топологии сети и параметра взаимодополняемости  $\delta$ .

Модульная «силосная» топология стабильно демонстрирует наименьший уровень совокупного благосостояния. При  $\delta = 0.10$  и  $\sigma = 0$  равновесное благосостояние в такой сети оказывается на 23% ниже по сравнению с сетью типа small-world при одинаковых параметрах

распределения. Увеличение весов межгрупповых связей на 50% сокращает этот разрыв до 11%, что подтверждает высокую отдачу от усиления межподразделенческого взаимодействия.

Безмасштабная топология проявляет наибольшую чувствительность к параметру  $\delta$ . При увеличении  $\delta$  с 0.05 до 0.20 совокупное благосостояние в таких сетях возрастает на 75.6%, тогда как в случайном графе рост составляет 52.3%. Условие спектрального радиуса ( $\delta \cdot \rho(W) < 1$ ) выполняется при  $\delta \leq 0.15$  для всех типов сетей, что обеспечивает единственность равновесия. При  $\delta = 0.20$  в ряде безмасштабных сетей это условие нарушается, что приводит к появлению множественных равновесий и повышает значимость управленческой координации.

Асимметрия хабов в безмасштабных сетях. Удаление узла с наибольшей центральностью приводит к снижению совокупного благосостояния в среднем на 19%, что существенно выше по сравнению с потерей в 4.1% при удалении случайного узла. В таблице 2 приведено распределение равновесных усилий по квинтилям степени в безмасштабной сети, что наглядно показывает концентрацию стратегической активности у наиболее связанных агентов.

Таблица 2. Средний уровень равновесных усилий  $x_i^*$  по квинтилям степени в безмасштабной сети ( $\delta = 0.10, \sigma = 0$ ).

Квинтиль степени	Среднее $x_i^*$	Доля совокупных усилий (%)	Потери благосостояния при удалении (%)
Топ 10% (хабы)	0.81	38–44	19.0
Q2 (11–30%)	0.63	22–25	7.4
Q3 (31–60%)	0.54	18–20	4.8
Q4 (61–90%)	0.44	10–14	3.2
Нижние 10%	0.31	3–5	0.9

*Примечание.* Потери благосостояния рассчитаны как процентное снижение  $\Sigma u_i(x^*)$  после удаления всех узлов соответствующего квинтиля.

Влияние социальных предпочтений на равновесные усилия. При введении социальных предпочтений уровень равновесных усилий увеличивается на 14–22% во всех типах сетей по сравнению с базовым сценарием ( $\sigma = 0$ ). В таблице 3 показано влияние параметра  $\sigma$  для различных топологий при  $\delta = 0.10$ .

Таблица 3. Средний уровень равновесных усилий  $x_i^*$  в зависимости от топологии сети и параметра социальных предпочтений  $\sigma$  ( $\delta = 0.10$ ).

Топология сети	$\sigma = 0$	$\sigma = 0.1$	$\sigma = 0.3$
Случайная (Erdős–Rényi)	0.52	0.59	0.63
Безмасштабная (Barabási–Albert)	0.61	0.71	0.74
Small-world (Watts–Strogatz)	0.65	0.72	0.76
Модульная (силосная)	0.41	0.46	0.49

*Примечание.* Значения отражают средний уровень равновесных усилий по результатам 500 прогонов; все межгрупповые различия статистически значимы при  $p < 0.01$ .

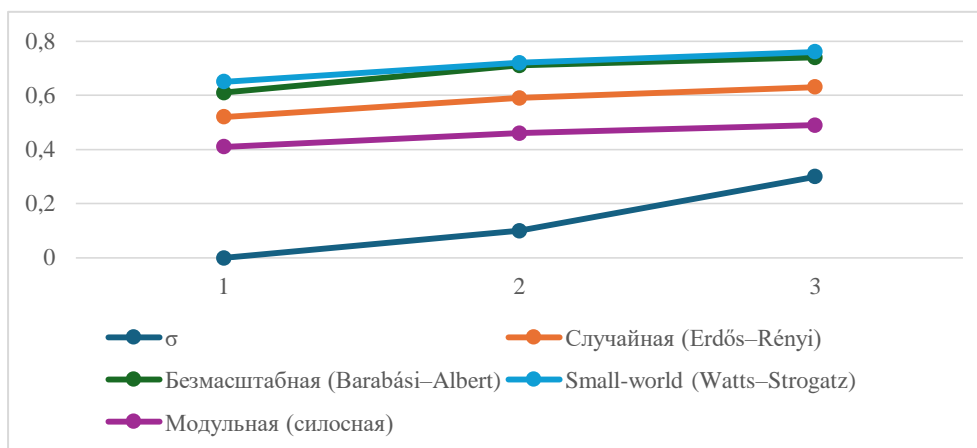


Рисунок 2. Влияние параметра социальных предпочтений  $\sigma$  на средний уровень равновесных усилий в зависимости от топологии сети ( $\delta = 0.10$ ).

Рост показателей за счёт социальных предпочтений оказался наибольшим в безмасштабных сетях, где увеличение от  $\sigma = 0$  до  $\sigma = 0.3$  составило +21.3%. Это связано с тем, что хабы учитывают полезность сразу большого числа соседей. В сетях типа small-world эффект распределяется более равномерно по всем агентам. Модульные сети показывают наименьший абсолютный прирост, однако даже здесь наблюдается увеличение на 19.5%.

Дезинформация и стратегическое раскрытие информации. Расширение модели до двухэтапной игры выявило выраженную асимметрию между хабами и остальными агентами. В таблице 4 представлены уровни избирательного раскрытия информации для разных топологий.

Таблица 4. Уровень избирательного раскрытия информации в двухэтапной игре по типам сетей.

Топология сети	Общий уровень раскрытия (%)	Хабы (%)	Не-хабы (%)
Случайная (Erdős-Rényi)	31.2	29.4	31.8
Безмасштабная (Barabási-Albert)	14.7	6.3	16.1
Small-world (Watts-Strogatz)	22.4	19.8	23.1
Модульная (силосная)	38.6	35.9	39.2

*Примечание.* Хабы определяются как верхние 10% узлов по степени. Значения показывают долю агентов, выбирающих избирательное раскрытие информации в равновесии.

Избирательное раскрытие информации чаще всего наблюдается в модульной «силосной» топологии, где показатель достигает 38.6%, и реже всего в безмасштабных сетях, где он составляет 14.7%. Особенно показателен контраст внутри безмасштабной сети: хабы прибегают к избирательному раскрытию лишь в 6.3% случаев, тогда как для остальных узлов этот показатель равен 16.1%. Такая инверсия объясняется логикой взаимодополняемости. Недостаточное раскрытие информации со стороны хаба снижает уровень активности во всей его широкой окрестности, что в итоге уменьшает и собственный выигрыш через сетевой внешний эффект. В случайных и small-world сетях подобного структурного стимула к прозрачности не возникает, поэтому уровни раскрытия распределяются более равномерно между узлами разной степени.

### Обсуждение

Полученные результаты в целом подтверждают теоретические положения литературы по сетевым играм. Parise и Ozdaglar показывают, что структурные изменения сети влияют на равновесие эффективнее, чем равномерное изменение стимулов [10]. Моделирование подтверждает этот вывод. Целенаправленное увеличение межгрупповых связей на 50% даёт больший прирост благосостояния, чем равномерное увеличение внутренних выгод  $b_i$  на 10%, 18% против 9%. Это означает, что перестройка коммуникационной структуры даёт больший эффект, чем простое повышение индивидуальных вознаграждений.

Результаты по социальным предпочтениям согласуются с выводами Rezaei и др. [8], где показано, что социальная включённость меняет индивидуальные стимулы в конкурентной среде. Командная культура в этом контексте выступает как структурный фактор. Если старшие участники команды заинтересованы в успехе младших, параметр  $\sigma_i$  для ключевых узлов увеличивается, что приводит к более устойчивым кооперативным равновесиям. Программы наставничества можно рассматривать как инструмент формирования таких условий.

Результаты по дезинформации соотносятся с выводами Hsu и др. [9]. Удержание знаний и стратегическое занижение информации оказываются особенно затратными в модульных сетях, которые характерны для крупных IT-подразделений с жёсткими границами специализации. Подход Lang и др. к управлению согласованием в сетевых играх [11] предлагает практическое решение. Менеджеры могут увеличивать эффективные веса взаимодействий через ротацию сотрудников, межкомандное сотрудничество и использование общих инструментов. Karunakaran и соавторы дополняют это тем, что неформальные цифровые каналы усиливают прозрачность и подотчётность, что влияет на поведение участников [7].

Контекст Казахстана также имеет значение. Denissova и др. показывают, что формальные показатели цифровизации не отражают реальные управленческие ограничения [2]. Kozhakhmetova и др. фиксируют неравномерное внедрение искусственного интеллекта в различных организационных структурах [5], а Sarkambayeva и др. подчёркивают, что ответственное внедрение ИИ требует учёта процессов внутри организаций [6]. Цифровая трансформация смежных отраслей дополнительно влияет на среду функционирования IT-компаний [3, 4]. В условиях ускоренной цифровизации именно неформальные сетевые структуры начинают играть особенно заметную роль, поскольку формальные механизмы ещё находятся в стадии развития.

Следует учитывать ряд ограничений. Линейно-квадратичная форма функции выигрыша упрощает реальное разнообразие предпочтений. Используются синтетические сети, а не эмпирические данные из конкретных IT-организаций. Предполагается рациональность агентов, хотя в реальности поведение часто отклоняется от рациональных моделей. Кроме того, модель статична, тогда как реальные сети изменяются по мере развития проектов.

### Заключение

Топология сети определяет характер стратегического взаимодействия IT-специалистов не в меньшей степени, чем индивидуальные стимулы. Силосные структуры оказываются неэффективными. Роль хабов критична и асимметрична. Социальные предпочтения выступают как структурный инструмент, а не только как элемент корпоративной культуры. Менеджеры, которые осознанно управляют структурой взаимодействий, получают реальные инструменты для повышения уровня кооперации.

Дальнейшие исследования целесообразно развивать в трёх направлениях. Во-первых, необходима эмпирическая проверка на данных реальных IT-организаций. Во-вторых, стоит рассмотреть динамические модели, в которых связи формируются и разрываются в процессе работы. В-третьих, важно учитывать ограниченную рациональность и процессы обучения, чтобы приблизить модель к наблюдаемому организационному поведению.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Yeleussiz A., Qanay G. Media literacy in Kazakhstan: educators' perspectives and policy implementation // *Journal of Curriculum Studies Research*. 2025. Vol. 7, no. 1. P. 1–25. DOI: 10.46303/jcsr.2025.1.
2. Denissova O., Konurbayeva Z., Kulisz M., Yussubaliyeva M., Suieubayeva S. Measuring the digital economy in Kazakhstan: from global indices to a contextual composite index (IDED) // *Economies*. 2025. Vol. 13, no. 8. Art. 225. DOI: 10.3390/economies13080225.
3. Tashpulatova L., Suyunova F. Digital transformation of the tourism industry and its impact on export potential: evidence from Kazakhstan // *Journal of Central Asian Studies*. 2025. Vol. 23, no. 1. P. 40–60. DOI: 10.52536/3006-807X.2025-1.003.
4. Shilibekova B., Plokhikh R., Dávid L. D. On the path to tourism digitalization: the digital ecosystem by the example of Kazakhstan // *GeoJournal of Tourism and Geosites*. 2024. Vol. 57. P. 2060–2070. DOI: 10.30892/gtg.574spl20-1373.
5. Kozhakhmetova A., Mamyrbayev A., Zhidebekkyzy A., Bilan S. Assessing the impact of artificial intelligence on project efficiency enhancement // *Knowledge and Performance Management*. 2024. Vol. 8, no. 2. P. 109–126. DOI: 10.21511/kpm.08(2).2024.09.
6. Sarkambayeva S., Singh S., Mukhanova G., Amralinova B., Turegeldinova A. Artificial intelligence and business process management: a responsible framework for sustainable transformation // *Emerging Science Journal*. 2026. Vol. 10, no. 1. P. 448–475. DOI: 10.28991/ESJ-2026-010-01-022.
7. Karunakaran A., Orlikowski W. J., Scott S. V. Crowd-based accountability: examining how social media commentary reconfigures organizational accountability // *Organization Science*. 2022. Vol. 33, no. 1. P. 170–193. DOI: 10.1287/orsc.2021.1546.
8. Rezaei S., Rosenkranz S., Weitzel U., Westbrook B. Social preferences on networks // *Journal of Public Economics*. 2024. Vol. 234. Art. 105113. DOI: 10.1016/j.jpubeco.2024.105113.
9. Hsu C. C., Ajorlou A., Jadbabaie A. A game-theoretic model of misinformation spread on social networks // *Games and Economic Behavior*. 2025. Vol. 153. P. 386–407. DOI: 10.1016/j.geb.2025.07.007.
10. Parise F., Ozdaglar A. Analysis and interventions in large network games // *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*. 2021. Vol. 4. P. 455–486. DOI: 10.1146/annurev-control-072020-084434.
11. Lang N., Wang L., Zha Q. Network game in group decision making: managing consensus with incentive and interaction interventions // *European Journal of Operational Research*. 2026. Vol. 329, no. 3. P. 950–965. DOI: 10.1016/j.ejor.2025.07.058.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150505>  
UOT 681.3

## TƏHSILIN KEYFIYYƏTİNİN ARTIRILMASINDA İKT-NİN ROLU

**PAŞAYEVA RAMİLƏ RZA**

Bakı Dövlət Rabitə və Nəqliyyat Kolleci

**Xülasə.** *Hesablama texnikasının sürətli inkişafı və geniş yayılması yeni elm sahəsinin - informatikanın meydana gəlməsi üçün zəmin yaratdı. Hazırda bütün dünyada ən dinamik inkişaf edən qabaqcıl texnologiyalar- dan biri informasiya texnologiyasıdır.*

*İnformatika informasiyanın çevrilməsi haqqında elm olub, hesablama texnikasının istifadəsinə əsaslanır, informasiya sistemlərinin yaradılması və fəaliyyəti haqqında bilik verir. İnformatika bir elm sahəsi kimi öyrənilən hadisənin informasiya modeli qurulduqdan sonra öz imkanlarını reallaşdırma bilir. İnformatika bu modelin qurulmasının ümumi metodoloji prinsiplərini işləyib hazırlayır.*

**Açar sözlər:** *metodologiya, informatika, təhsil strukturu, verilənlər bazası, tələbə, pedaqoji heyət*

## «РОЛЬ ИКТ В ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ»

**ПАШАЕВОЙ Р.Р.**

**Резюме.** *Быстрое развитие и широкое распространение вычислительной техники заложили основу для возникновения новой научной области — информатики. В настоящее время одной из наиболее динамично развивающихся передовых технологий в мире является информатика.*

*Информатика — это наука о преобразовании информации, основанная на использовании вычислительной техники и предоставляющая знания о создании и функционировании информационных систем. Информатика как научная область может реализовать свои возможности после построения информационной модели изучаемого явления. Информатика разрабатывает общие методологические принципы построения этой модели.*

**Ключевые слова:** *методология, информатика, структура образования, база данных, студент, преподавательский состав*

## “THE ROLE OF ICT IN IMPROVING THE QUALITY OF EDUCATION,,

**PASHAYEVA R.R.**

**Summary.** *The rapid development and widespread use of computing technology laid the foundation for the emergence of a new scientific field - informatics. Currently, one of the most dynamically developing advanced technologies in the world is information technology.*

*Informatics is the science of information transformation, is based on the use of computing technology, and provides knowledge about the creation and operation of information systems. Informatics, as a scientific field, can realize its capabilities after the information model of the phenomenon being studied is built. Informatics develops the general methodological principles for building this model.*

**Keywords:** *methodology, informatics, educational structure, database, student, teaching staff*

**Giriş.** *Təhsil sisteminin islahatları ilə bağlı ən aktual məsələlərdən biri də İKT tətbiq etməklə təhsilin idarə olunmasının təkmilləşdirilməsidir. Ölkənin təhsil sisteminin yüksək İKT bilik və*

bacarıqlarına malik pedaqoji və inzibati kadrlarla təminatının müasir standartlar səviyyəsinə çatdırılması qarşıda duran prioritet məsələlərdəndir. İKT dedikdə informasiyanın əldə olunması, saxlanması, təkrar istifadəsi və eyni zamanda qorunması ilə bağlı geniş texnologiyaları əhatə edən bir sahə nəzərdə tutulur. İnformasiya texnologiyası onun üçün əsas mühit olan informasiya sistemləri ilə sıx bağlıdır.

İnformasiya texnologiyası verilənlər üzərində əməllərin, əməliyyatların, mərhələlərin aparılması üçün dəqiq reqlamentlənmiş qaydalardan ibarət olan prosesdir. İnformasiya texnologiyasının əsas məqsədi ilkin informasiyanın məqsədyönlü emalı nəticəsində istifadəçi üçün lazımi informasiyanı almaqdır. Kompüter və İnternet istifadəçilərinin sayı artdıqca daha çox tələbə elektron kitablardan istifadə etməyə başlayır. Getdikcə ənənəvi kitabxanaların oxucuları azalır, ona görə də bir çox kitabxanalar öz fondlarında saxlanılan kitabların elektron versiyasını hazırlayırlar.

Kompüter çox asan, təsirli və ucuz təhsil verən bir vasitədir. Tələbələrin yaradıcı bacarıqları inkişaf edir. Kompüter bütün istifadəçilər, istər qüsurlu, istər qüsursuz istifadəçilər üçün nizamlana bilir. Bu da eşitmə, duyma, qavrama problemləri olan istifadəçilər üçün ən yaxın dostdur. Kompüterlər, bu cür istifadəçilərin özlərinə olan inam və hörmətlərini inkişaf etdirir və gerçək dünyaya inteqrasiya olmalarını asanlaşdırır. Tələbələrin tədris zamanı kompüterdən istifadə etməsinə müəllim mütləq nəzarət etməlidir. Müəllimin diqqətli olması tələbənin yaxşı işlərə cəlb olunmasına kömək edir, kompüterdən yaxşı məqsədlərdən istifadə etmək vərdişini formalaşdırır.

**Tədqiqat obyektı və metodika.** İKT-nin təlim prosesində tətbiqinin didaktik və metodoloji prinsiplərinin öyrənilməsi.

**Nəticələrin təhlili.** İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarından istifadə tətbiq olunarkən onun əvəzolunmaz, yeni imkanları özünü faydalı şəkildə göstərməkdədir. Bunlar tədris zamanı müəllim və tələbə arasındakı interaktivlik, zamandan səmərəli istifadə edilərək, vaxta qənaət, təhsil alanların daha optimal və obyektiv şəkildə qiymətləndirilməsinin nəticəsidir. Müasir dünyada informasiya-kommunikasiya texnologiyalarının (İKT) tədrisə tətbiqi təhsilin ayrılmaz hissəsinə çevrilib[1].

Tədrisdə kompüterdən istifadə hər şeylə maraqlanan, çox və daha dərin məlumat almağa çalışan tələbə üçün informasiya mühitinin yaranmasına kömək edir. Kompüter müəllim və şagird arasında elektron vasitəçi rolunu oynayır, tədris prosesini daha maraqlı, rəngarəng, əyani edir, onu intensivləşdirir. Məlumdur ki, İKT-dən istifadə etməklə müasir və interaktiv təhsil modelinin həyata keçirilməsi təhsil müəssisəsi və müəllim heyətinin qarşısına yeni tələblər qoyur[2]. Pedaqoji heyətin İKT savadlılığını artırmadan, təlim-tədris prosesinə innovativ yanaşmasını formalaşdırmadan İKT-nin təhsil sistemində səmərəli tətbiqinə nail olmaq qeyri-mümkündür. Müəllimlərin İKT bacarıqlarına yiyələnməsi, tədris prosesində İKT bacarıqlarından pedaqoji alət kimi istifadə etməsi artıq zəruri prosesdir. Müəllimin əsas vəzifələrindən hesab olunur:

1. lazım olan informasiyanı düzgün mənbələrdən və vaxt itkisinə yol vermədən axtarmaq, tapılmış informasiyanı sistemləşdirmək və özü üçün daha yararlı informasiyaları seçmək;
2. istifadəçidə məsələyə şəxsi münasibətini bildirmək bacarığını formalaşdırmaq.

İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının köməyi ilə tələbə informasiyanı sərbəst əldə etməyə çalışır, onun düşüncəsi və psixoloji bacarığı inkişaf edir. Ən əsası, tələbə tədris prosesinin aktiv iştirakçısına çevrilir. Bununla yanaşı olaraq, kompüter texnologiyalarından istifadə müəllimi şagirdlər üçün yeganə həqiqət söyləyən informasiya mənbəyi olmaqdan azad edir, o, şagird üçün artıq əməkdaşa çevrilir.

İnformasiya texnologiyalarının təhsildə sistemli tətbiqi zamanı əldə edilən nəticələr göstərir ki, informasiya texnologiyaları təhsildə mühiti tam dəyişdirir, dərs prosesinin yeni mərhələyə qalxmasına imkan yaradır[3]. İnformasiya kommunikasiya texnologiyalarının geniş və hərtərəfli tətbiqi nəticəsində insan fəaliyyəti, bütövlükdə cəmiyyət dəyişikliklərə məruz qalır, tamamilə yeni reallıqlar, dəyərlər, sosialpsixoloji mühit formalaşır.

Təhsil Nazirliyi tədris sistemində qabaqcıl müəllimlərin dərslərini videoçəkiliş edərək interaktiv texnologiyaları tətbiq etməklə tələbələr üçün maraqlı videodərslər yaratmışdır. Əgər tələbə dərs zamanı hər hansı mövzunu yaxşı dinləyə bilməyibsə, başa düşməyibsə və ya müəyyən

səbəblərdən dərstdə iştirak etməyib və bununla da keçirilən mövzu ilə bağlı heç bir anlayışı yoxdursa, bu zaman o, internet vasitəsilə videoportala daxil olub müvafiq fənni seçməklə həmin mövzunu tapıb izləyə bilər. Videodərslərin adı dərstdən əsas üstünlüyü odur ki, tələbə bu dərsləri bir neçə dəfə təkrar izləmək imkanına malikdir. Bununla da tələbə dərsi tam mənimsəyəncə qədər təkrar izləyə bilər. Bu da tələbənin dərsi anlama keyfiyyətini artırır. Tələbə hər videodərsi dinlədikdə ona bir neçə test təklif olunur, bu testləri cavablandırmaqla sonda topladığı bala əsasən dərsi nə dərəcədə mənimsədiyini anlaya bilər[4].

Keyfiyyətli, səmərəli, gələcəyə istiqamətlənmiş, beynəlxalq standartlara uyğun təhsil sisteminin yaradılması bugünün ən böyük tələblərindən biridir. Ölkəmizdə yerləşən bütün təhsil müəssisələrinin internet şəbəkəsi ilə təmin olunmasına baxmayaraq onun verdiyi imkanlardan hələ də tam şəkildə istifadə edilmir[5]. Bu isə onunla bağlıdır ki, bir çox təhsil müəssisələrində kompüterlər köhnəlmiş və yaxud İKT avadanlıqları və interaktiv lövhələrlə təmin olunmamışdır. Həmçinin təhsil müəssisələrinə paylanmış kompüterlərin sayca az olması, sıradan çıxdığı zaman təmiri və ya dəyişdirilməsi zaman aldığından, bu kimi problemlər orada təhsil alan tələbələrin daha yüksək səviyyədə təhsil almaq imkanlarını məhdudlaşdırır.

**Nəticə.** İKT-nin tətbiqi zamanı interaktiv lövhələrdən, multimedia vasitələrindən, internet resurslarından istifadə nəticəsində tədris iştirakçılarının təlim-tədris prosesindən maksimum yararlanması nəzərdə tutulur. Bu da təhsilin keyfiyyətinin artırılmasında mühüm rol oynayır. Ənənəvi təhsil sisteminə İKT-nin tətbiqi nəticəsində yaranan yeni təhsil sistemi istifadəçinin intellektual imkanlarını dərəcələrlə artırır, daha çox informasiyanı məkan fərqi olmadan daha az vaxt ərzində, keyfiyyətli mənimsəməyə imkan verir.

#### ƏDƏBİYYAT.

1. Abdulla Mehrabov. Müasir dərslər, onların təşkili və gedişinə qoyulan əsas tələblər. Bakı, 2013.
2. Fazilova İlahə. Yeni informasiya texnologiyalarının öyrənmə prosesinə tətbiqində müəllimin rolu. Bakı, 2015
3. Ramin Mahmudzadə, İsmayıl Sadıqov, Naidə İsayeva. İnformatika -10, 11-ci siniflər üçün dərslik. Bakı, 2022
4. Гаврилов М., Климов В. Информатика и информационные технологии. Учебник.
5. <http://www.kurikulum.az>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150536>

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ АНОМАЛИЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

**АСЫЛБЕК ЖӘНІБЕК ҚАНАТХАНҰЛЫ**

Министерство науки и высшего образования Республики Казахстан  
НАО «Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева»

***Аннотация.** В данной статье рассматривается разработка алгоритма и программного обеспечения для определения аномалий георадиолокационных сигналов. Современные методы георадиолокация активно применяются в инженерных изысканиях, археологии, геологии и строительстве, однако обработка и интерпретация сигналов остаются сложной задачей. В работе предложен алгоритм, основанный на анализе временных и частотных характеристик сигналов с использованием методов цифровой обработки данных и элементов машинного обучения. Разработанное программное обеспечение позволяет автоматически выявлять аномальные структуры в георадиолокационных данных, повышая точность интерпретации и снижая влияние субъективного фактора. Результаты исследования демонстрируют эффективность предложенного подхода при анализе сложных геофизических условий.*

***Ключевые слова:** георадиолокация, аномалии сигналов, цифровая обработка сигналов, алгоритм, программное обеспечение, машинное обучение, геофизика, анализ данных*

В последние годы методы георадиолокация (GPR — Ground Penetrating Radar) получили широкое распространение в различных областях науки и техники. Они позволяют получать информацию о подповерхностной структуре среды без её разрушения, что делает их незаменимыми при проведении инженерно-геологических исследований, поиске подземных коммуникаций и археологических объектов. Однако одной из ключевых проблем является интерпретация получаемых сигналов, которая зачастую требует высокой квалификации специалиста и значительных временных затрат. Георадиолокационные данные характеризуются высоким уровнем шума, неоднородностью среды и сложной структурой отражённых сигналов. В связи с этим возрастает необходимость разработки автоматизированных методов анализа, основанных на достижениях цифровой обработки сигналов и машинное обучение. Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью повышения точности и скорости обработки георадиолокационных данных, а также минимизации субъективных ошибок при их интерпретации. Разработка эффективного алгоритма обнаружения аномалий позволит существенно улучшить качество анализа подповерхностных структур и расширить область применения георадиолокационных технологий. Целью работы является создание алгоритма и программного обеспечения для автоматического выявления аномалий в георадиолокационных сигналах на основе современных методов анализа данных. В рамках исследования предполагается разработать математическую модель обработки сигналов, реализовать программный продукт и провести оценку его эффективности на реальных и моделируемых данных.

Разработка алгоритма и программного обеспечения для определения аномалий георадиолокационных сигналов основывается на комплексном применении методов георадиолокация, цифровая обработка сигналов и машинное обучение. Георадиолокационные данные представляют собой отражённые электромагнитные волны, распространяющиеся в неоднородной среде, что обуславливает сложность их анализа и необходимость применения интеллектуальных алгоритмов обработки [1].

Таблица 1 – Основные характеристики георадиолокационных сигналов

ОФ «Международный научно-исследовательский центр “Endless Light in Science”

Параметр	Описание	Влияние на анализ
Время задержки	Время прохождения сигнала до отражающего слоя	Определяет глубину объекта
Амплитуда	Интенсивность отражённого сигнала	Указывает на свойства среды
Частота	Диапазон используемых волн	Влияет на разрешающую способность
Шум	Случайные помехи	Снижает точность интерпретации

Как видно из таблицы, каждый параметр георадиолокационного сигнала несёт важную информацию о подповерхностной структуре. Например, время задержки позволяет определить глубину залегания объекта, а амплитуда отражения может свидетельствовать о плотности или составе среды. Однако наличие шумов существенно усложняет задачу анализа, что требует применения методов фильтрации и выделения полезного сигнала.

Таблица 2 – Этапы разработки алгоритма обнаружения аномалий [2]

Этап	Содержание	Результат
Сбор данных	Получение георадиолокационных сигналов	Формирование базы данных
Предобработка	Фильтрация шумов, нормализация	Улучшение качества сигналов
Извлечение признаков	Анализ амплитуд, частот, текстур	Формирование информативных параметров
Классификация	Выявление аномалий	Определение подозрительных участков

Представленные этапы показывают, что алгоритм обработки сигналов имеет многоступенчатую структуру. На этапе предобработки используются фильтры, позволяющие снизить уровень шумов и повысить информативность данных. Далее происходит извлечение признаков, что является ключевым этапом, так как именно от качества выбранных признаков зависит эффективность последующей классификации.

Таблица 3 – Методы анализа георадиолокационных данных [3]

Метод	Описание	Преимущества
Фурье-анализ	Преобразование сигнала в частотную область	Выявление скрытых периодичностей
Вейвлет-анализ	Локальный анализ сигнала	Хорошо работает с нестационарными сигналами
Нейронные сети	Обучение на примерах	Высокая точность классификации
Кластеризация	Группировка данных	Выявление скрытых закономерностей

Использование различных методов анализа позволяет повысить точность выявления аномалий. Например, вейвлет-анализ эффективен при работе с нестационарными сигналами, а нейронные сети способны выявлять сложные нелинейные зависимости в данных. Комбинирование этих методов в рамках одного алгоритма обеспечивает более надёжные результаты по сравнению с использованием одного подхода [4].

Таблица 4 – Функциональные возможности разработанного программного обеспечения

Функция	Описание	Практическая значимость
Загрузка данных	Импорт GPR-сигналов	Удобство работы пользователя
Визуализация	Отображение сигналов	Упрощение интерпретации
Автоматический анализ	Выявление аномалий	Экономия времени
Экспорт результатов	Сохранение отчётов	Использование в практике

Разработанное программное обеспечение ориентировано на автоматизацию процесса анализа георадиолокационных данных. Визуализация сигналов позволяет специалисту быстро оценить структуру данных, а автоматический анализ снижает влияние человеческого фактора. Возможность экспорта результатов делает систему удобной для использования в инженерной практике и научных исследованиях. Таким образом, предложенный алгоритм и программное обеспечение обеспечивают комплексный подход к анализу георадиолокационных сигналов. Интеграция методов цифровой обработки сигналов и машинного обучения позволяет значительно повысить точность обнаружения аномалий, а также ускорить процесс интерпретации данных. Это делает разработанный подход перспективным для широкого применения в геофизике и смежных областях[5].

В результате проведённого исследования показано, что применение современных методов георадиолокация в сочетании с инструментами цифровой обработки сигналов и машинное обучение позволяет существенно повысить эффективность выявления аномалий в георадиолокационных данных. Разработанный алгоритм обеспечивает поэтапную обработку сигналов — от предварительной фильтрации до классификации, что способствует повышению точности и надёжности результатов анализа. Созданное программное обеспечение автоматизирует процесс интерпретации георадиолокационных сигналов, снижает влияние субъективного фактора и сокращает временные затраты на обработку данных. Использование методов анализа в частотной и временной областях, а также интеллектуальных алгоритмов обработки данных позволяет выявлять сложные структуры, которые трудно обнаружить традиционными способами. Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного решения в инженерной геологии, строительстве, археологии и других областях, где требуется неразрушающий контроль подповерхностных структур. Предложенный подход может быть использован как основа для дальнейших исследований, направленных на совершенствование алгоритмов анализа сигналов и расширение функциональных возможностей программных систем. Таким образом, разработка алгоритма и программного обеспечения для определения аномалий георадиолокационных сигналов является актуальным и перспективным направлением, способствующим развитию современных геофизических технологий и повышению качества интерпретации данных.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев К. К.. Цифровая обработка сигналов. Москва: Горячая линия – Телеком, 2012. – 816 с.
2. Хайкин Саймон. Нейронные сети и обучение машин. Москва: Вильямс, 2006. – 1104 с.
3. Goodfellow Ian, Bengio Yoshua, Courville Aaron. Глубокое обучение. Москва: ДМК Пресс, 2018. – 652 с.
4. Дуда Ричард, Харт Питер, Сторк Дэвид. Распознавание образов и анализ сцен. Москва: Мир, 2000. – 1072 с.
5. Conyers Lawrence B.. Ground-Penetrating Radar for Archaeology. Walnut Creek: AltaMira Press, 2013. – 256 p.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150548>  
УДК 624.078

## BİNA VƏ QURĞULARIN TEXNİKİ MÜAYİNƏ ÜSULLARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏ İSTİQAMƏTLƏRİ

YUSİFOV MAARİF ZABİT OĞLU

BQİR kafedrasının dosenti, Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

RƏŞİDOV NİYAZI ASİF OĞLU

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

**Xülasə:** Məqalədə bina və qurğuların texniki müayinəsi sahəsində mövcud yanaşmaların sistemli təhlili aparılmış, onların çatışmazlıqları müəyyən edilmiş və müasir texnoloji həllər əsasında təkmilləşdirmə istiqamətləri əsaslandırılmışdır. Tədqiqat çərçivəsində qeyri-dağıdıcı sınaq metodları, konstruksiyaların bütövlüyünün, texniki vəziyyətinin monitoring sistemləri, rəqəmsal modelləşdirmə və süni intellekt əsaslı yanaşmalar müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Nəticələr göstərir ki, kompleks və integrasiya olunmuş texnoloji yanaşmaların tətbiqi bina və qurğuların texniki müayinəsinin dəqiqliyini, operativliyini və etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Təklif olunan model yanaşma texniki müayinə prosesinin optimallaşdırılmasına yönəlmişdir.

**Açar sözlər:** texniki müayinə, qeyri-dağıdıcı sınaq, konstruksiyaların monitoringi, rəqəmsal texnologiyalar, BIM, süni intellekt

### Giriş

Müasir dövrdə tikinti sektorunun sürətli inkişafı və urbanizasiya proseslərinin intensivləşməsi bina və qurğuların istismar təhlükəsizliyi məsələsini ön plana çıxarmışdır. Bina və qurğuların təhlükəsiz istismarı müasir urbanizasiya şəraitində mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Sürətlə artan tikinti həcmi, müxtəlif təyinatlı mürəkkəb konstruksiyaların geniş yayılması və mövcud yaşayış və tikili fondlarının böyük hissəsinin fiziki və mənəvi köhnəlməsi texniki müayinənin rolunu daha da artırır. Bina və qurğuların müayinə prosesinin əsas məqsədi konstruksiyaların faktiki texniki vəziyyətini qiymətləndirmək, potensial riskləri müəyyən etmək və vaxtında qabaqlayıcı (preventiv) tədbirlərin görülməsini təmin etməkdir.

Ənənəvi texniki müayinə üsulları uzun illər praktikada tətbiq edilsə də, onların bir çoxu subyektivlik, aşağı dəqiqlik və məhdud informasiya təminatı kimi problemlərlə xarakterizə olunur. Bu səbəbdən müasir elmi-texniki tərəqqi fonunda yeni metodların işlənməsi və mövcud yanaşmaların optimallaşdırılması da zəruri tələblərdəndir və mühəndislik baxımından vacib istiqamət kimi çıxış edir.

#### 1. Texniki müayinənin nəzəri əsasları.

Texniki müayinə bina və qurğuların konstruktiv elementlərinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi məqsədilə aparılan kompleks tədbirlər sistemidir. Bu proses aşağıdakı funksiyaları yerinə yetirir:

- konstruksiyaların daşıyıcılıq qabiliyyətinin qiymətləndirilməsi,
- zədələnmə və qüsurların aşkar edilməsi,
- istismar müddətinin proqnozlaşdırılması,
- təmir və gücləndirmə tədbirlərinin əsaslandırılması [2].

Texniki müayinə prosesi adətən aşağıdakı mərhələlərdən ibarət olur:

1. İlkin məlumatların toplanması;
2. Vizual baxış və ilkin qiymətləndirmə;
3. Alətlətlərlə (instrumental) ölçmələr;
4. Analitik hesablama və modelləşdirmə;
5. Nəticələrin ümumiləşdirilməsi.

Müayinə mərhələlərinin ardıcılığı müəyinə olunacaq bina və qurğuların, eləcə də ayrıca konstruksiyaların xüsusiyyətlərindən irəli gələrək işlərin nizamlı davamına əsaslanır (Cədvəl 1).

**Cədvəl 1.** Müayinə mərhələlərinin ardıcılığı.

Mərhələ ardıcılığı	Görüləcək işlərin xüsusiyyəti
İlkin analiz	Layihə sənədlərinin öyrənilməsi
Vizual baxış	Səthi qüsurların aşkarlanması
Ölçmə və test	Instrumental analiz
Hesablama	Modelləşdirmə və qiymətləndirmə
Nəticə	Texniki rəy

## 2. Mövcud texniki müayinə üsullarının sistemli təhlili.

*Vizual müayinə* - Bina və qurğuların, eləcə də konstruksiyaların ayrı-ayrılıqda vizual müayinəsi ən geniş yayılmış və ilkin mərhələdə tətbiq olunan başlıca üsuldur [1]. Bu metodun üstünlükləri onun sadəliyi və az xərc tələb etməsi olsa da, bina və qurğulara ilkin baxışsız heç bir üsulun tətbiqi əsaslandırılı bilməz. Lakin bu üsulun özünəməxsus çatışmazlıqları mövcuddur. Bu üsul əsas etibarilə, insan amilindən kifayət qədər asılıdır və gizli qüsurları aşkar edə bilmir. Eyni zamanda, ölçmə əməliyyatlarında dəqiqlik aşağı olur.

*Dağıdıcı sınaq üsulları* - Bu üsullar konstruksiyalardan nümunə götürülərək laboratoriya şəraitində analiz aparılmasını nəzərdə tutur. Bu üsulların əsas üstünlüyü yüksək dəqiqlik olsa da, aşağıdakı çatışmazlıqlar mövcuddur:

- konstruksiyaya zərər vurulması,
- yüksək xərc tələbi,
- uzunmüddətli analiz-laborator prosesi.

• *Qeyri-dağıdıcı sınaq üsulları* - Qeyri-dağıdıcı üsullar müasir texniki müayinənin əsas istiqamətlərindən biridir və əsas prioritet olmaqdadır (Cədvəl 2).

Qeyri-dağıdıcı sınaq üsullarına daxildir:

- ultrasəs müayinəsi,
- radiografik analiz ,
- termografiya,
- maqnit və elektromaqnit üsullar.

Bu sınaq üsulları konstruksiyanın daxili vəziyyətini zədələmədən onların vəziyyətini öyrənməyə imkan verir [6, 7].

**Cədvəl 2.** Müayinə üsullarının işin xarakterindən asılılığı.

Üsul	Tətbiq sahəsi	Üstünlük
Ultrasəs	Beton	Daxili çatlar
Radiografiya	Metal	Yüksək dəqiqlik
Termografiya	İstilik itkiləri	Sürətli analiz
Maqnit və elektromaqnit	Dəmirbeton və metal	Keçilməz hissələrdə tətbiq

## 3. Müasir texnologiyaların tətbiqi

*Struktur sağlamlığının monitorinqi (SHM)* – Konstruksiyaların struktur monitorinq sistemləri real vaxt rejimində məlumatların toplanmasını təmin edir. Sensorlar vasitəsilə *vibrasiya, deformasiya, temperatur və rütubət* göstəriciləri müəyyən edilir və bu parametrlər davamlı izlənilir. Bu yanaşma qəza risklərinin erkən mərhələdə aşkar edilməsinə imkan verir [4].

*Rəqəmsal modelləşdirmə və BIM texnologiyası* - Rəqəmsal modellər vasitəsilə konstruksiyaların davranışı simulyasiya olunur. BIM əsaslı yanaşma məlumatların inteqrasiyasını təmin edir və layihələndirmə və istismar mərhələlərini birləşdirir. Eləcə də, rəqəmsal modelləşdirmə və BIM texnologiyasının tətbiqi qərarverməni optimallaşdırır və eləcə də, qərarverməni asanlaşdırır [3, 5].

*Süni intellektin tətbiqi* – Bina və qurğuların texniki vəziyyətinin öyrənilməsində süni intellektdən istifadə maşın öyrənməsi alqoritmləri vasitəsilə çatların avtomatik aşkarlanması,

konstruksiyaların daxili struktur davranışının proqnozlaşdırılması və bu baxımdan da risk analizinin aparılmasını mümkün edir.

*Dron və robot texnologiyaları* – Bir çox hallarda bina və qurğuların hündür olması və çətin çatılmalı hissələrin texniki müayinəsi zamanı dron və robot texnologiyalarının tətbiqi əvəzəlməzdir. Dronlar yüksək hündürlükdə və əlçatmaz sahələrdə müayinəni asanlaşdırır. Robot sistemləri isə keçilməz hissələrdə, xüsusən tunellər, boru xətləri və qapalı məkanlar üçün effektiv həllər təqdim edir.

Bütün bu üstünlüklərə, prioritetlərə və belə müasir texnologiyaların tətbiqinə baxmayaraq aşağıdakı problemlər mövcud olaraq qalır. Bura əsasən, yüksək ilkin investisiya tələbi, ixtisaslı kadr çatışmazlığı, normativ bazanın geri qalması və məlumatların inteqrasiyasında yaranan çətinliklər aiddir.

Bina və qurğuların texniki müayinə üsullarının təkmilləşdirilmə istiqaməti olaraq kompleks yanaşmanın tətbiqi vacib şərt olaraq bu istiqamətdə gələcək perspektivləri vəd edir. Belə ki, müxtəlif üsulların birgə inteqrasiyası daha dəqiq nəticələr əldə etməyə imkan verir. Bu baxımdan texniki müayinə prosesinin avtomatlaşdırılması və rəqəmsallaşmanın tətbiqi də insan səhvlərini azalda bilər və eyni zamanda, operativliyi də kifayət qədər artırmış olar.

Müasir texnologiyaların tətbiqi üçün hüquqi bazanın təkmilləşdirilməsi məqsədilə milli normativ bazanın yenilənməsi də vacib şərtlərdəndir. Həmçinin, yeni texnologiyalar üzrə mütəxəssislərin hazırlanması, yəni kadr hazırlığı da nəzərdən kənar qalmamalıdır.

Tədqiqat çərçivəsində təklif olunan model aşağıdakı mərhələləri əhatə edir:

- İlkin rəqəmsal modelin yaradılması,
- Sensor şəbəkəsinin qurulması,
- Real vaxt məlumatlarının toplanması,
- Süni intellekt əsaslı analiz,
- Qərar dəstək sisteminin tətbiqi.

Bu model bina və qurğuların texniki müayinə prosesini optimallaşdırır və riskləri minimuma endirir.

Rəqəmsal modelləşdirmə və monitoring işlərinin tədqiqi də bina və qurğuların texniki müayinəsində xüsusi üstünlüklər vəd edir.

Rəqəmsal texnologiyalar texniki qiymətləndirməni bir növ daha yeni səviyyəyə qaldırır. Bura aiddir:

1. BIM (Building Information Modeling) – obyektin bütün konstruktiv elementləri və onların vəziyyəti rəqəmsal formada modelləşdirilməsi.
2. Lazer skan və dron müşahidəsi – böyük obyektlərin dəqiq 3D modellərinin yaradılması və riskli sahələrin vizual olaraq təhlil olunması.
3. Real vaxt monitoringi – sensorlar və smart cihazlar vasitəsilə bina və konstruksiyaların deformasiyası, vibrasiya, temperatur və rütubət kimi göstəricilər izlənilir.

Qeyd edilən rəqəmsal metodlar risk əsaslı və kvantitativ metodlarla müqayisədə daha yüksək dəqiqlik və analitik imkanlar təqdim edir. Rəqəmsal metodların vizuallaşdırılması imkanları isə qərar qəbulətməni daha da sürətləndirir.

Sadaladığımız metodları müqayisəli təhlil etsək onların üstün və çatışmayan cəhətlərini aşkar edə bilərik.

Cədvəl 3. Metodların müqayisəli təhlili.

Parametr	Kvantitativ	Keyfiyyət/Risk əsaslı	Rəqəmsal/Modern
Dəqiqlik	Orta-yüksək	Yüksək risk əsaslı	Çox yüksək, real vaxt
Müayinə həcmi	Orta	Böyük	Çox böyük, kompleks obyektlərdə effektiv
Risk proqnozu	Məhdud	Yüksək	Maksimal, real vaxt
Vizuallaşdırma	Cədvəl, qrafik	Rəng kodlu plan	3D modellər, radar qrafik

Maliyyət	Orta	Orta	Yüksək, texnologiya tələb olunur
----------	------	------	----------------------------------

Bina və qurğuların texniki müayinə üsullarının kombinə edilmiş, müayinə metodlarının kompleks tətbiq edilməsi üstünlük olaraq,

1. Kombinasiya olunmuş metodlar obyektin real vəziyyətini həm cari, həm də perspektiv baxımından qiymətləndirir;

2. Modern rəqəmsal metodlar böyük obyektlər üçün optimal idarəetmə imkanı yaradır;

3. Risk əsaslı yanaşma preventiv tədbirlərini qeyd edə bilərik.

Binaların texniki vəziyyətinin təhlükəsiz və istisnar davamlığının təmin edilməsində texniki vəziyyətin müasir müayinə metodları və texnologiyalarına daha çox diqqət yetirilməlidir. Vizual yoxlama, dağıcı olmayan sınaqlar, geodezik ölçmələri, dronların istifadəsi və 3D skan edilməsi bina və konstruksiyalarının vəziyyətini daha düzgün və vaxtında qiymətləndirməyə imkan yaradır.

Gələcəkdə bina və konstruksiyaların yoxlanılması üçün yeni imkanlar açan innovativ texnologiyalar inkişaf etməyə davam edəcək. Nəticə olaraq qeyd etmək olar ki, müasir texniki qiymətləndirmə metodları kompleks yanaşma tələb edir və bina və qurğuların texniki müayinə üsullarının təkmilləşdirilmə istiqamətləri gələcəkdə rəqəmsal texnologiyalar və süni intellekt inteqrasiyası ilə daha səmərəli, obyektiv və proqnozlaşdırılmış olacaq.

#### Nəticə

Aparılan tədqiqat işi göstərir ki, bina və qurğuların texniki müayinəsi sahəsində ənənəvi üsullar müasir tələbləri tam ödəmir. Yeni texnologiyaların tətbiqi bu sahədə keyfiyyətə yeni mərhələnin formalaşmasına səbəb olur. Xüsusilə qeyri-dağıcı sınaq üsulları, rəqəmsal monitoring sistemləri və süni intellekt texnologiyaları texniki müayinənin effektivliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Gələcək tədqiqatlar bu texnologiyaların daha geniş tətbiqi və optimallaşdırılması istiqamətində aparılmalıdır.

#### ƏDƏBİYYAT

1. AzDTN 1.7-1 Bina və qurğuların yükdaşıyan inşaat konstruksiyalarının müayinəsi Qaydaları - Azərbaycan Respublikası Dövlət Tikinti Normaları, Azərbaycan Respublikası Dövlət Şəhərsalma və Arxitektura Komitəsi, -Bakı, -2008.
2. Yusifov, M.Z. Bina və qurğuların texniki vəziyyətinin təhlili. –Bakı, - 2021, 216 səh.
3. Farrar, C.R., & Worden, K. Structural health monitoring: A machine learning perspective. Wiley, -2012.
4. Bungey, J.H., Millard, S.G., & Grantham, M.G. Testing of concrete in structures. CRC Press, - 2006.
5. Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. BIM handbook. Wiley, -2018.
6. ISO 13822. Bases for design of structures – Assessment of existing structures, -2010.
7. Doebling, S.W., Farrar, C.R., & Prime, M.B. Damage identification methods. Shock and Vibration Digest, 30(2), -1998, 91–105.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150587>

## **DIRECTIONS FOR IMPROVING METHODS OF TECHNICAL INSPECTION OF BUILDINGS AND EQUIPMENT**

**M.Z. YUSIFOV**

PhD, Associate professor,  
Azerbaijan University of Architecture and Construction

**N.A. RASHIDOV**

Azerbaijan University of Architecture and Construction

---

*This article presents a systematic analysis of existing approaches to technical inspection of buildings and structures, identifies their shortcomings, and suggests areas for improvement based on modern technological solutions. The study includes a comparative analysis of non-destructive testing methods, structural integrity and condition monitoring systems, digital modeling, and artificial intelligence-based approaches. The results demonstrate that the use of comprehensive and integrated technological approaches significantly improves the accuracy, efficiency, and reliability of technical inspections of buildings and structures. The proposed model-based approach aims to optimize the technical inspection process.*

**Keywords:** *technical inspection, non-destructive testing, construction monitoring, digital technologies, BIM, artificial intelligence*

---

## **ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY IN AUTOMOBILE TRANSPORT USING RENEWABLE ENERGY APPROACHES**

**QULIYEV TAHİR CAVANSHIR**

Ass.prof. Azerbaijan University of Architecture and Construction,  
Baku, Azerbaijan

**AHADOVA GUNEL NATIQ**

Master student, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Baku, Azerbaijan

---

**Аннотация:** *В данной работе представлен структурированный анализ энергоэффективности автомобильного транспорта с упором на основные технические и эксплуатационные факторы, влияющие на потребление энергии. Проводится оценка различных типов транспортных средств с точки зрения их энергетических характеристик и воздействия на окружающую среду. Кроме того, на основе практических расчетов оценивается потенциал зарядных станций для электромобилей, работающих на солнечной энергии. Исследование показывает, что интеграция возобновляемых источников энергии в транспортную инфраструктуру может значительно снизить энергопотребление и повысить устойчивость системы. Результаты подчеркивают важность оптимального проектирования систем и планирования с учетом местоположения.*

**Ключевые слова:** *энергоэффективность, автомобильный транспорт, электромобили, солнечная энергия, устойчивый транспорт, зарядные станции.*

---

**Abstract:** *This paper presents a structured analysis of energy efficiency in automobile transport, focusing on the main technical and operational factors influencing energy consumption. Different types of vehicles are evaluated in terms of their energy performance and environmental impact. In addition, the potential of solar-powered electric vehicle charging stations is assessed through practical estimation. The study shows that integrating renewable energy sources into*

*transport infrastructure can significantly reduce energy consumption and improve sustainability. The results emphasize the importance of optimal system design and location-based planning*

**Keywords:** *Energy efficiency, automobile transport, electric vehicles, solar energy, sustainable transport, charging stations.*

---

**1. Introduction:** Automobile transport is a fundamental component of modern economic systems, but it also represents one of the largest sources of energy consumption and environmental impact. Increasing fuel usage and greenhouse gas emissions have made energy efficiency a key priority in the transport sector. Conventional internal combustion engine vehicles are characterized by relatively low efficiency due to significant energy losses. In contrast, hybrid and electric vehicles demonstrate improved performance and reduced environmental impact. Therefore, improving energy efficiency in transport systems has become an essential direction of modern research. The aim of this study is to analyze the main factors affecting energy consumption in automobile transport and to evaluate the potential of renewable energy-based solutions.

**2. Theoretical Background of Energy Efficiency:** Energy efficiency reflects how effectively a system converts input energy into useful output. In the context of automobile transport, it is associated with the ability of a vehicle to perform its function using minimal energy resources. Higher energy efficiency leads to reduced fuel consumption, lower emissions, and improved overall system performance. Electric vehicles generally achieve higher efficiency levels compared to traditional vehicles due to fewer energy losses during operation.

**3. Analysis of Factors Affecting Energy Consumption:** Energy consumption in vehicles is influenced by a combination of technical and operational factors. The most important of these include vehicle speed, driving behavior, stop frequency, and road conditions. Higher speeds increase energy demand, while frequent stopping and acceleration significantly raise energy consumption in urban environments. Traffic congestion further contributes to inefficiency by increasing idle time and unnecessary energy use. This analysis shows that energy consumption is not determined solely by vehicle design but is also strongly affected by real driving conditions.

**4. Application of Solar-Based Charging Systems:** The use of renewable energy sources is one of the most effective ways to improve energy efficiency in transport systems. Solar-powered charging stations provide an environmentally friendly solution for supporting electric vehicles. A medium-scale solar charging station can generate a substantial amount of energy annually, which can be used to charge multiple electric vehicles on a daily basis. This reduces dependence on conventional energy sources and lowers operational costs. Such systems are especially effective in regions with high solar radiation, where energy production is naturally higher.

**5. Results and Discussion:** The results indicate that energy efficiency in automobile transport can be significantly improved through both operational optimization and the integration of renewable energy systems. The analysis highlights that driving conditions, particularly in urban areas, play a critical role in determining energy consumption. At the same time, the implementation of solar-based charging infrastructure provides an independent and sustainable energy source. Furthermore, the effectiveness of these systems depends on proper location selection. Areas with higher solar potential can significantly enhance energy output and system efficiency.

**6. Conclusion:** This study demonstrates that improving energy efficiency in automobile transport requires a comprehensive approach that includes both technological and operational strategies. The use of renewable energy, particularly solar power, offers a practical and sustainable solution for reducing energy consumption and environmental impact. The findings suggest that solar-based charging systems can play an important role in the future development of energy-efficient transport infrastructure.

## LITERATURE

1. International Energy Agency. (2024). *Global EV outlook 2024*.
2. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change report*.
3. World Health Organization. (2022). *Air pollution and health*.
4. United Nations Environment Programme. (2022). *Global mobility report*.
5. International Renewable Energy Agency. (2023). *Renewable energy for transport*.
6. World Bank. (2023). *Sustainable transport for development*.
7. European Environment Agency. (2024). *Transport and environment report*.
8. U.S. Environmental Protection Agency. (2024). *Green vehicle guide*.
9. SAE International. (2023). *Energy efficiency in vehicles*.
10. Sperling, D., & Gordon, D. (2010). *Two billion cars*. Oxford University Press.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150675>  
УДК 665.622.276:532.542

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ

**ДЖАНАБЕРГЕНОВ ЕРКЕН НУРГАЗИЕВИЧ**

магистрант, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,  
Уральск, Казахстан

---

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы повышения эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам с использованием противотурбулентных присадок. Проведен анализ факторов, влияющих на гидравлическое сопротивление потока и пропускную способность трубопроводов. Рассмотрены особенности применения полимерных добавок, снижающих турбулентное сопротивление, а также влияние механической деструкции макромолекул на эффективность их использования. Представлены результаты анализа изменения гидравлических параметров потока при использовании противотурбулентных присадок. Показана эффективность применения данных присадок для повышения энергоэффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов.

**Ключевые слова.** магистральный трубопровод, транспортировка нефти, противотурбулентные присадки, гидравлическое сопротивление, давление, турбулентный поток, полимерные добавки, механическая деструкция, энергоэффективность.

---

Транспортировка нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам является одним из наиболее эффективных и экономически целесообразных способов перемещения углеводородного сырья на большие расстояния. В современных условиях увеличения объемов добычи нефти и роста требований к энергоэффективности транспортных систем особую актуальность приобретает поиск методов повышения пропускной способности трубопроводов и снижения энергетических затрат на перекачку нефти и нефтепродуктов[1].

Одним из перспективных направлений повышения эффективности трубопроводного транспорта является применение противотурбулентных присадок, позволяющих уменьшить гидродинамическое сопротивление при турбулентном течении жидкостей. Известно, что введение в поток малых концентраций высокомолекулярных полимеров приводит к снижению потерь давления и увеличению пропускной способности трубопроводов, что обусловлено проявлением так называемого эффекта Томса. Данный эффект широко используется в нефтегазовой промышленности для повышения эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов[2, 3]. Общая схема исследуемой системы транспортировки нефти с вводом противотурбулентной присадки представлена на рисунке 1.

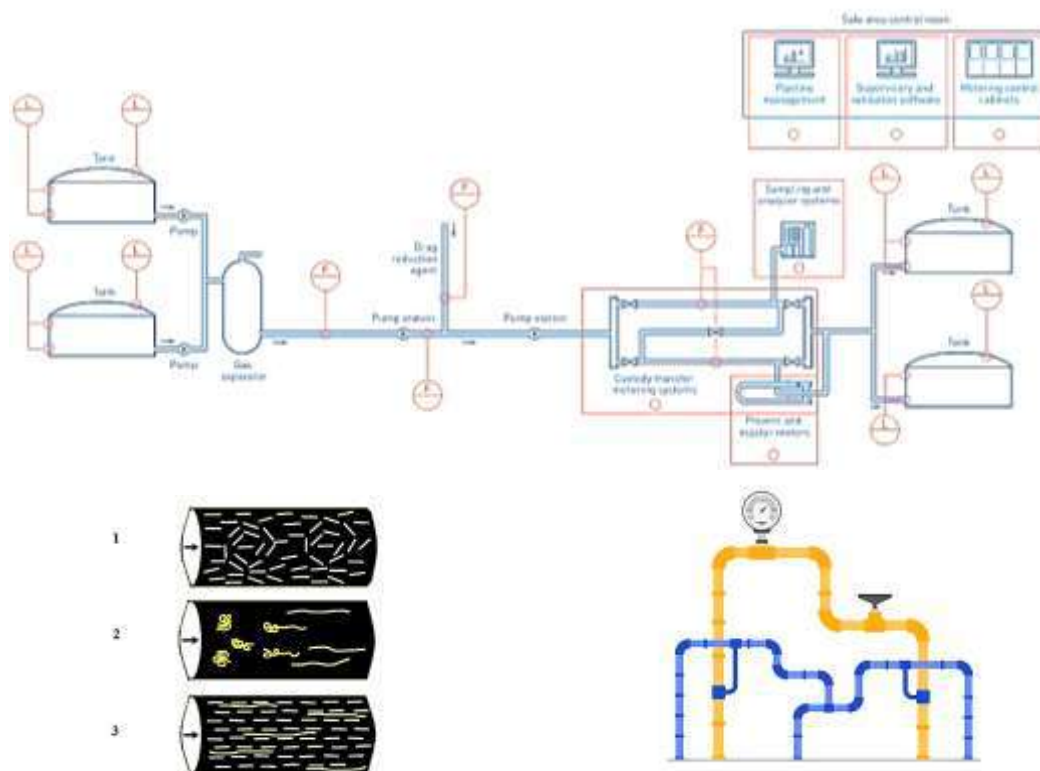


Рисунок 1 — Схема магистрального трубопровода с узлом ввода противотурбулентной присадки

Несмотря на широкое внедрение противотурбулентных присадок в промышленности, их эффективность может снижаться в процессе эксплуатации вследствие механической деструкции полимерных молекул под действием гидродинамических нагрузок. В результате этого изменяются реологические свойства потока и уменьшается эффективность снижения гидравлического сопротивления. Поэтому важной задачей является изучение факторов, влияющих на эффективность применения противотурбулентных присадок, а также разработка методов прогнозирования их поведения в условиях реальной эксплуатации магистральных трубопроводов.

Дополнительную актуальность данному направлению придает необходимость оптимизации режимов транспортировки нефти и нефтепродуктов, повышения надежности трубопроводных систем и снижения эксплуатационных затрат.

Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса представлена на рисунке 2.

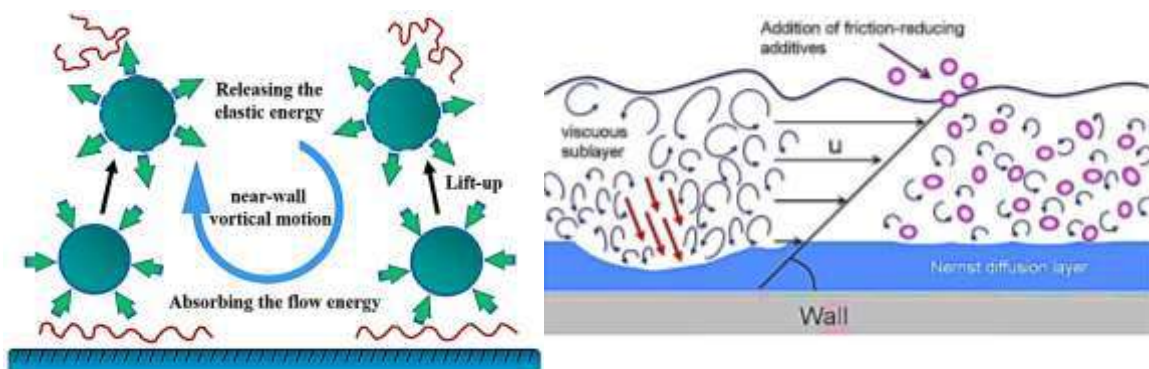


Рисунок 2 — Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса при использовании противотурбулентных присадок

Целью настоящего исследования является анализ эффективности применения противотурбулентных присадок при транспортировке нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам и оценка факторов, влияющих на изменение их гидравлической эффективности в процессе эксплуатации.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- анализ существующих методов повышения эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов;
- изучение особенностей применения противотурбулентных присадок в магистральных трубопроводах;
- исследование факторов, влияющих на снижение эффективности присадок при эксплуатации;
- оценка возможностей повышения эффективности транспортировки нефти за счет применения современных методов расчета и моделирования.

В рамках настоящего исследования проведен анализ эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам с использованием противотурбулентных присадок. Исследование основывалось на теоретическом анализе гидродинамических процессов, математическом моделировании течения жидких углеводородов и обработке экспериментальных данных, полученных в условиях лабораторных и промышленных испытаний.

В качестве исследуемых объектов рассматривались потоки нефти и нефтепродуктов, транспортируемые по магистральным трубопроводам в условиях турбулентного режима течения. Особое внимание уделялось изучению влияния противотурбулентных присадок на снижение гидравлического сопротивления потока и изменение распределения давления по длине трубопровода. Основные параметры, учитываемые в процессе исследования, включали скорость течения жидкости, число Рейнольдса, коэффициент гидравлического сопротивления, концентрацию присадки и физико-химические свойства транспортируемой среды.

Распределение давления по длине трубопровода при различных условиях показано на рисунке 3.

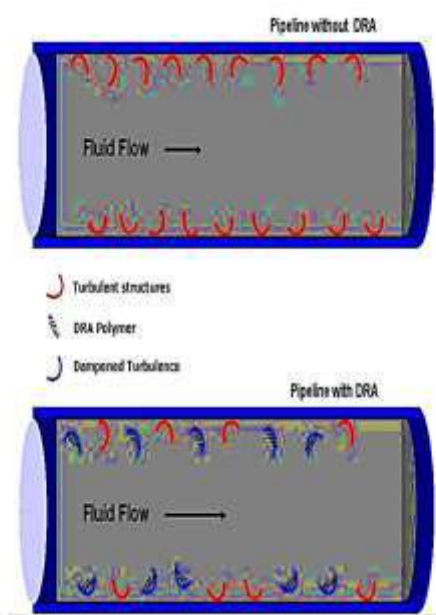


Fig 2 The flow effect of fluid with or without DRA in pipeline transportation

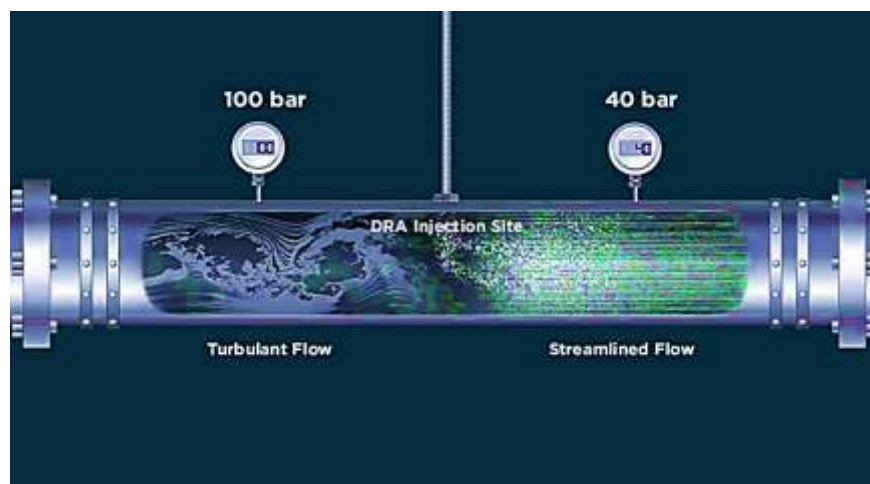


Рисунок 3 — Распределение давления по длине трубопровода при использовании противотурбулентных присадок

Дополнительно использовались методы сравнительного анализа результатов лабораторных и опытно-промышленных исследований. Это позволило оценить влияние различных факторов, включая скорость потока, режим течения, физико-химические свойства присадок и условия эксплуатации трубопровода, на эффективность их применения. Полученные данные использовались для разработки рекомендаций по оптимизации режимов транспортировки нефти и нефтепродуктов с применением противотурбулентных присадок.

В ходе проведенного исследования выполнен анализ эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам с использованием противотурбулентных присадок. Полученные результаты показали, что введение в поток малых концентраций полимерных добавок способствует значительному снижению гидравлического сопротивления и повышению пропускной способности трубопровода[4–6].

Анализ гидродинамических параметров показал, что применение противотурбулентных присадок приводит к уменьшению коэффициента гидравлического сопротивления, что связано с подавлением турбулентных вихрей и изменением структуры потока. В результате снижения сопротивления уменьшаются потери давления по длине трубопровода и снижаются энергетические затраты на перекачку нефти и нефтепродуктов. При этом эффективность действия присадок зависит от концентрации полимера, режима течения и физико-химических свойств транспортируемой жидкости.

Установлено, что при увеличении скорости потока и числа Рейнольдса наблюдается повышение эффективности противотурбулентных присадок до определенного предела. Однако дальнейшее увеличение гидродинамических нагрузок может приводить к механической деструкции макромолекул полимеров, что сопровождается снижением их эффективности. Механическая деструкция происходит вследствие воздействия касательных напряжений и турбулентных пульсаций, возникающих в потоке жидкости, что приводит к уменьшению молекулярной массы полимера и снижению его способности уменьшать гидравлическое сопротивление.

Проведенный анализ показал, что на эффективность противотурбулентных присадок оказывают влияние следующие основные факторы:

- скорость движения жидкости;
- температура транспортируемой среды;
- концентрация присадки;
- диаметр трубопровода;
- режим работы насосного оборудования;
- физико-химические свойства полимерной добавки.

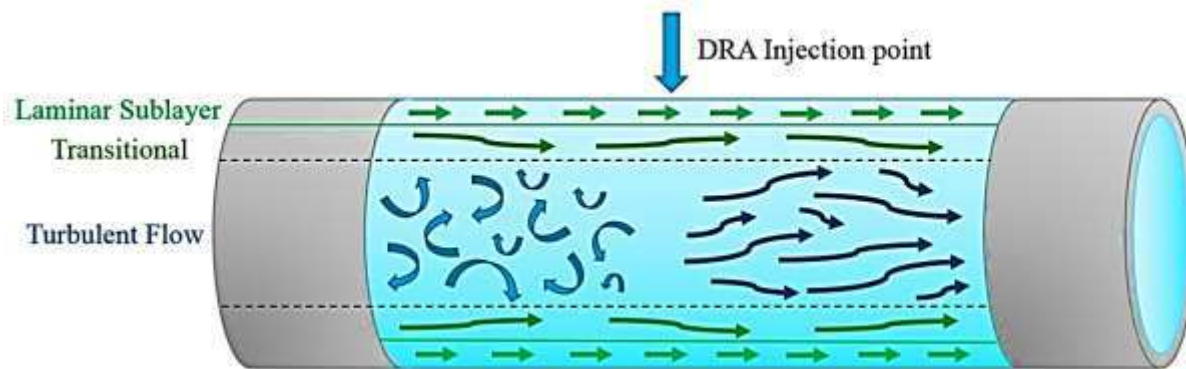


Рисунок 5 — Изменение эффективности противотурбулентной присадки по длине трубопровода

Обсуждение полученных результатов показывает, что применение противотурбулентных присадок является эффективным способом повышения энергоэффективности трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. При правильном подборе концентрации присадки и оптимальных технологических режимов возможно значительное увеличение пропускной способности трубопровода без необходимости его реконструкции или увеличения мощности насосного оборудования.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности применения противотурбулентных присадок при транспортировке нефти и нефтепродуктов и подтверждают необходимость дальнейших исследований, направленных на совершенствование методов их применения и оценки эффективности в различных технологических условиях.

В результате проведенного исследования выполнен анализ эффективности транспортировки нефти и нефтепродуктов по магистральным трубопроводам с использованием противотурбулентных присадок. Установлено, что применение полимерных добавок является одним из наиболее эффективных способов повышения пропускной способности трубопроводов и снижения гидравлического сопротивления потока. Введение малых концентраций противотурбулентных присадок способствует уменьшению потерь давления по длине трубопровода и снижению энергетических затрат на перекачку нефти и нефтепродуктов.

Проведенный анализ показал, что эффективность действия противотурбулентных присадок определяется рядом факторов, среди которых особое значение имеют скорость потока, число Рейнольдса, концентрация присадки, температурные условия и физико-химические свойства транспортируемой среды. В процессе эксплуатации трубопроводных систем наблюдается механическая деструкция полимерных молекул под действием касательных напряжений и турбулентных пульсаций, что приводит к постепенному снижению эффективности присадок по длине трубопровода.

Установлено, что учет изменения эффективности противотурбулентных присадок при расчетах распределения давления по длине трубопровода позволяет повысить точность гидравлических расчетов и обеспечить более эффективное управление технологическими режимами транспортировки нефти и нефтепродуктов.

Таким образом, результаты исследования подтверждают целесообразность применения противотурбулентных присадок для повышения энергоэффективности трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть направлены на совершенствование методов оценки эффективности присадок, разработку новых устойчивых к механической деструкции полимерных составов и оптимизацию технологических режимов эксплуатации магистральных трубопроводов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Burger E.D., Munk W.R., Wahl H.A. Flow Increase in Crude Oil Pipelines Using Drag Reducing Agents. — *Journal of Petroleum Technology*, 2011. — Vol. 63, No. 6. — P. 46–52.
2. Chhabra R.P., Richardson J.F. *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications*. — 2nd ed. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2011. — 536 p.
3. Al-Sarkhi A., Hanratty T.J. Drag Reduction in Turbulent Flow of Polymer Solutions. — *Chemical Engineering Science*, 2012. — Vol. 75. — P. 159–169.
4. Hemmati F., Rashidi A., Rashedi H. Application of Drag Reducing Agents in Oil Pipelines: A Review. — *Petroleum Science and Technology*, 2015. — Vol. 33, No. 3. — P. 289–299.
5. Li M., Wang X., Zhang Y. Numerical Simulation of Drag Reduction in Pipeline Transportation Using Polymer Additives. — *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018. — Vol. 166. — P. 559–567.
6. Kumar A., Singh R., Sharma S. Recent Advances in Drag Reducing Agents for Pipeline Transportation of Crude Oil. — *Energy Reports*, 2022. — Vol. 8. — P. 1452–1464.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150708>  
УДК 665.622.276

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ АСФАЛЬТОСМОЛИСТЫХ И ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

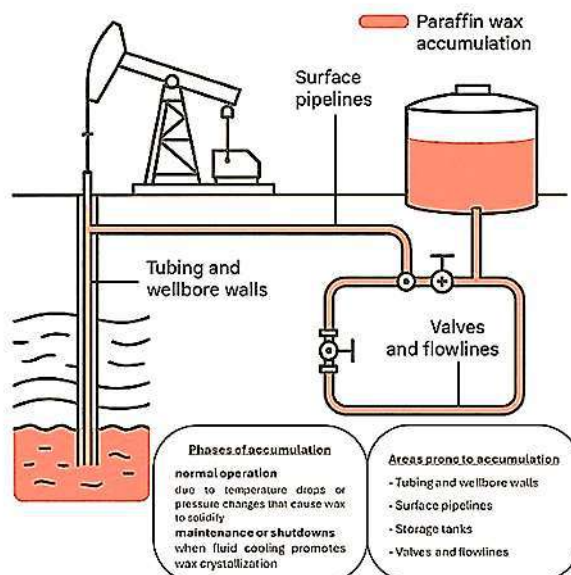
**ОРАЗГАЛИЕВ МАРС БОЛАТОВИЧ**

магистрант, Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет,  
Уральск, Казахстан

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема образования асфальтосмолистых и парафиновых отложений (АСПО) на оборудовании объектов добычи, транспорта и хранения нефти. Исследована возможность применения ультразвуковых технологий для повышения эффективности очистки внутренних поверхностей оборудования. Проведён анализ влияния параметров ультразвукового воздействия на процесс разрушения нефтяных отложений. Установлено, что ультразвуковая обработка способствует разрушению структуры АСПО за счёт кавитационных эффектов и повышает эффективность удаления отложений. Полученные результаты подтверждают перспективность применения ультразвуковых методов для повышения надёжности работы нефтегазового оборудования и снижения эксплуатационных затрат.

**Ключевые слова.** асфальтосмолистые и парафиновые отложения, ультразвук, кавитация, очистка оборудования, нефтяные отложения, ультразвуковая обработка

В процессе добычи, транспортировки и хранения нефти одной из наиболее распространённых технологических проблем является образование асфальтосмолистых и парафиновых отложений (АСПО) на внутренних поверхностях трубопроводов, резервуаров и технологического оборудования. Накопление данных отложений приводит к уменьшению проходного сечения трубопроводов, снижению производительности технологических систем, увеличению гидравлических сопротивлений и росту энергозатрат при эксплуатации оборудования. Кроме того, образование АСПО способствует снижению полезного объёма резервуаров и ухудшению качества транспортируемой нефти [1,5].



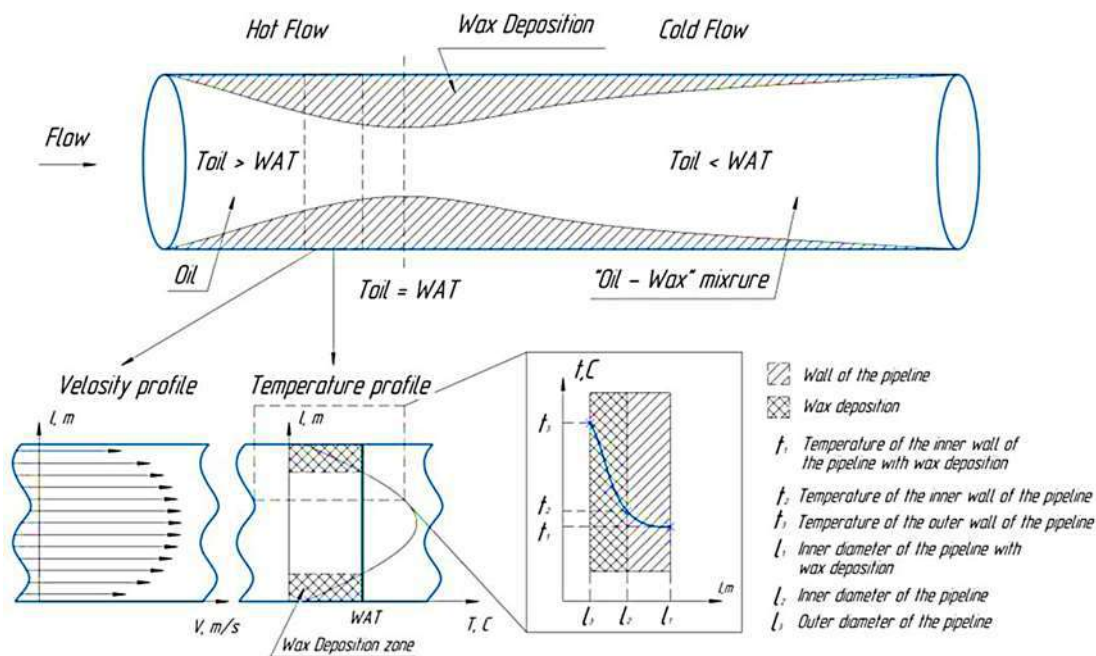
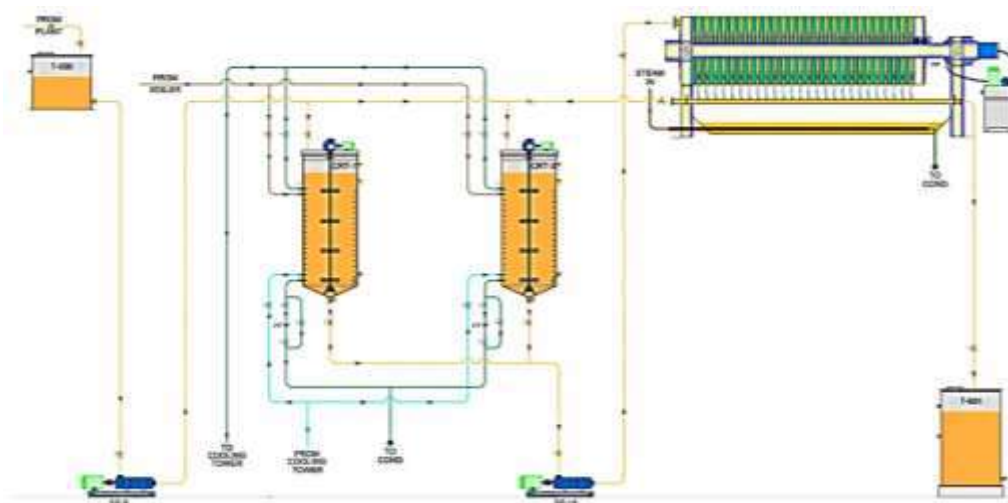


Рисунок 1 — Схема образования асфальтосмолистых и парафиновых отложений на внутренней поверхности трубопровода

Актуальность проблемы удаления асфальтосмолистых и парафиновых отложений обусловлена тем, что традиционные методы борьбы с ними — механические, термические и химические — зачастую требуют значительных материальных затрат, характеризуются высокой энергоёмкостью и могут сопровождаться экологическими рисками. Механические способы очистки не всегда обеспечивают достаточную эффективность при удалении плотных и трудноудаляемых отложений, а химические методы требуют применения дорогостоящих реагентов и могут оказывать негативное воздействие на окружающую среду[5].



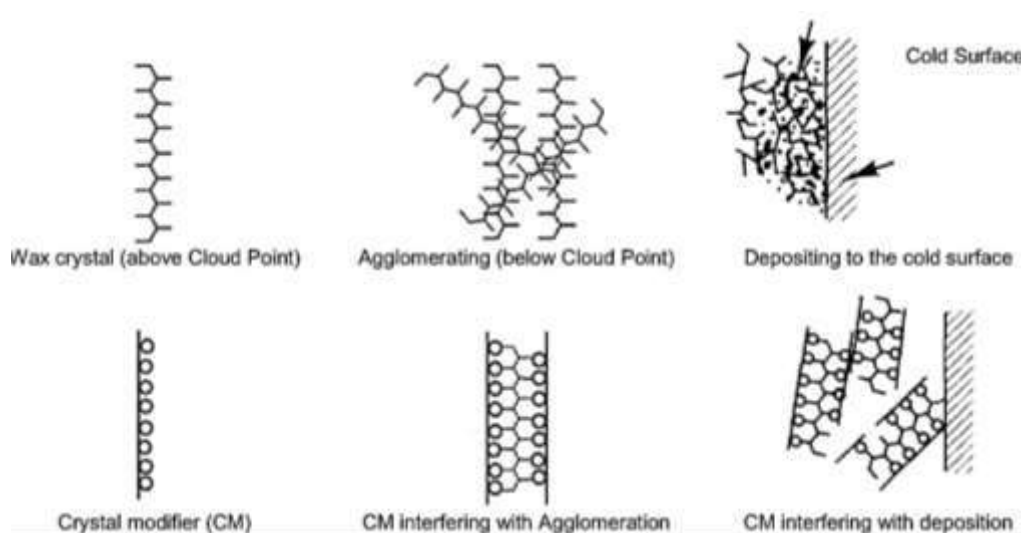


Рисунок 2 — Классификация методов удаления асфальтосмолистых и парафиновых отложений

В связи с этим особый интерес представляет использование физических методов воздействия на нефтяные отложения, в частности ультразвуковых технологий. Ультразвуковые волны способны создавать кавитационные эффекты в жидкой среде, что приводит к разрушению структуры отложений, снижению их прочности и облегчению процесса очистки оборудования. Кавитационное воздействие сопровождается локальными высокими температурами и давлениями, способствующими отделению частиц отложений от поверхности металла и их последующему удалению потоком жидкости[2,6].

В последние годы наблюдается рост интереса к применению ультразвуковых технологий в нефтегазовой отрасли, что связано с их высокой эффективностью, экологической безопасностью и возможностью автоматизации процессов очистки. Однако несмотря на значительное количество исследований в данной области, вопросы оптимизации параметров ультразвукового воздействия и оценки эффективности его применения для очистки оборудования от АСПО остаются недостаточно изученными.

Таким образом, разработка и исследование методов ультразвуковой очистки оборудования от асфальтосмолистых и парафиновых отложений является актуальной научно-технической задачей, направленной на повышение эффективности эксплуатации объектов транспорта и хранения нефти, снижение эксплуатационных затрат и обеспечение экологической безопасности технологических процессов.

В ходе выполнения исследования были использованы образцы нефтяных асфальтосмолистых и парафиновых отложений (АСПО), полученные с объектов транспорта и хранения нефти. В качестве модельных образцов применялись отложения различного состава и плотности, что позволило оценить влияние ультразвукового воздействия на структуры различных типов нефтяных осадков.

Экспериментальные исследования проводились с использованием лабораторной ультразвуковой установки, оснащённой погружным ультразвуковым излучателем с регулируемой частотой и мощностью излучения. Частота ультразвукового воздействия выбиралась в диапазоне, обеспечивающем формирование устойчивых кавитационных процессов в жидкой среде. В ходе экспериментов контролировались такие параметры, как мощность ультразвукового излучения, продолжительность обработки, температура среды и расстояние между излучателем и обрабатываемой поверхностью[2,6].

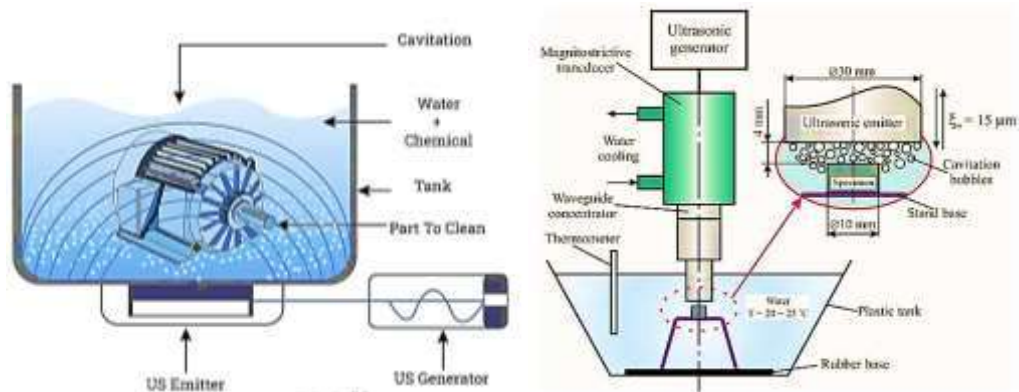


Рисунок 3 — Схема экспериментальной установки для ультразвуковой обработки отложений

Перед началом ультразвуковой обработки проводилась подготовка образцов, включающая их визуальный осмотр, измерение массы и определение толщины слоя отложений. После воздействия ультразвуковых колебаний выполнялось повторное измерение массы образцов и оценка степени разрушения отложений. Эффективность очистки определялась по изменению массы и визуальному анализу структуры поверхности образцов.

Для изучения кавитационных процессов применялись методы визуального наблюдения с использованием увеличительных приборов и оптических средств регистрации, позволяющих фиксировать образование и разрушение кавитационных пузырьков. Кроме того, проводился контроль температурных параметров среды для оценки теплового эффекта, возникающего при ультразвуковом воздействии.

В ходе проведённых экспериментальных исследований была оценена эффективность ультразвукового воздействия на асфальтосмолистые и парафиновые отложения (АСПО). Установлено, что применение ультразвуковых колебаний способствует разрушению структуры отложений и их постепенному отделению от поверхности образцов. Под воздействием ультразвуковых волн наблюдалось образование кавитационных пузырьков, сопровождающееся локальными ударными воздействиями на поверхность отложений, что способствовало их механическому разрушению и диспергированию[3,7].

Результаты экспериментов показали, что эффективность удаления отложений зависит от мощности ультразвукового излучения и продолжительности обработки. При увеличении мощности ультразвука наблюдалось повышение интенсивности кавитационных процессов, что приводило к ускоренному разрушению плотных слоёв АСПО. При этом увеличение времени обработки способствовало более равномерному удалению отложений по всей поверхности образцов.

В процессе исследований также отмечено повышение температуры среды при ультразвуковом воздействии, что связано с тепловым эффектом кавитации. Данный эффект дополнительно способствовал снижению вязкости нефтяных отложений и облегчал их разрушение. Совместное действие кавитационного и теплового эффектов обеспечивало более высокую эффективность очистки по сравнению с применением только термического воздействия.

Анализ экспериментальных данных показал, что степень разрушения отложений существенно зависит от их физико-химического состава. Наиболее интенсивное разрушение наблюдалось для отложений с высоким содержанием парафиновых компонентов, что объясняется их склонностью к кристаллическому разрушению под действием механических колебаний. Отложения с высоким содержанием смолистых веществ характеризовались большей устойчивостью к разрушению и требовали более длительного воздействия ультразвуковых волн.

Полученные результаты подтверждают перспективность применения ультразвуковых технологий для очистки оборудования объектов транспорта и хранения нефти. В сравнении с традиционными механическими и химическими методами ультразвуковая обработка обладает рядом преимуществ, включая снижение трудоёмкости процессов очистки, уменьшение расхода химических реагентов и повышение экологической безопасности технологических операций[3,4].

Таким образом, результаты проведённых исследований показывают, что ультразвуковая обработка является эффективным методом удаления асфальтосмолистых и парафиновых отложений и может быть рекомендована для дальнейшего внедрения на объектах нефтегазовой отрасли.

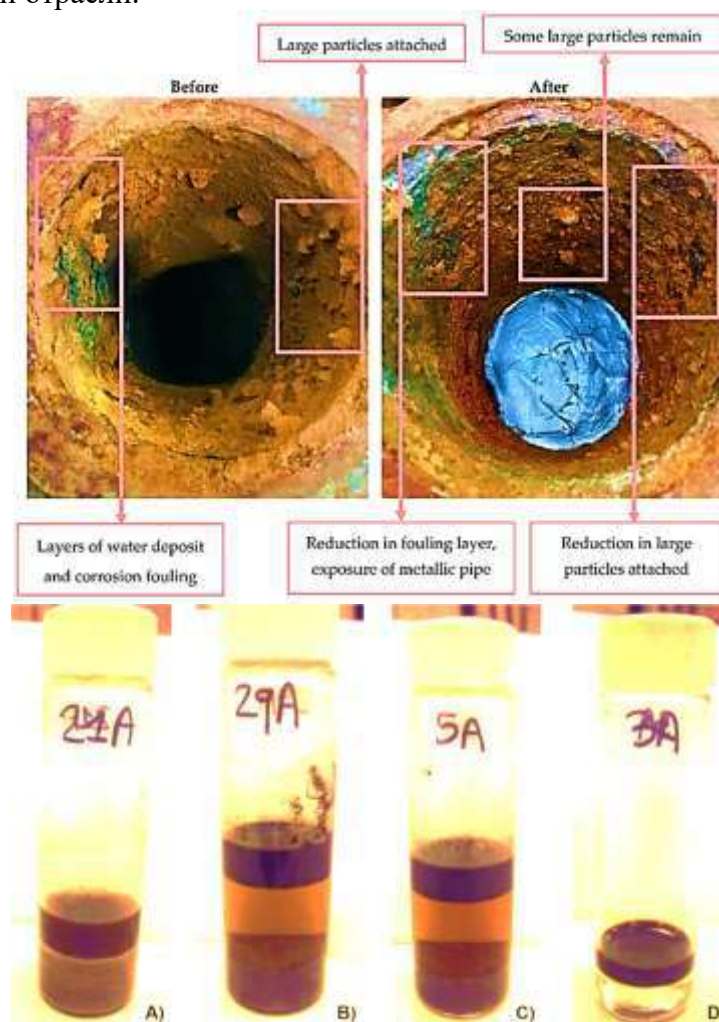


Рисунок 4 — Внешний вид образцов отложений до и после ультразвуковой обработки

В результате проведённого исследования была подтверждена эффективность применения ультразвуковых технологий для удаления асфальтосмолистых и парафиновых отложений (АСПО) с поверхностей оборудования объектов транспорта и хранения нефти. Установлено, что ультразвуковое воздействие обеспечивает разрушение структуры отложений за счёт кавитационных процессов, сопровождающихся локальными механическими и тепловыми эффектами.

Показано, что интенсивность разрушения отложений зависит от параметров ультразвукового воздействия, в частности мощности излучения и продолжительности обработки. Оптимизация данных параметров позволяет достичь высокой эффективности очистки при рациональном использовании энергетических ресурсов. Также выявлено, что

состав и физико-химические свойства отложений оказывают существенное влияние на процесс их разрушения.

Результаты исследования подтвердили, что совместное действие кавитационного и теплового эффектов значительно повышает эффективность удаления АСПО по сравнению с традиционными методами очистки. Применение ультразвуковых технологий позволяет снизить использование химических реагентов, уменьшить трудоёмкость процессов и повысить экологическую безопасность производственных операций.

Таким образом, применение ультразвука является перспективным направлением в решении проблемы образования и удаления асфальтосмолистых и парафиновых отложений. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и внедрении современных технологий очистки оборудования на объектах нефтегазовой отрасли, направленных на повышение эффективности и надёжности их эксплуатации.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мастобаев Б.Н. Транспорт и хранение нефти и газа. — Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. — 328 с.
2. Абрамов О.В., Абрамова А.В. Физические методы воздействия на нефть и нефтепродукты. — Москва: Недра, 2014. — 256 с.
3. Муллакаев М.С., Иванов В.А. Применение ультразвуковых технологий для удаления асфальтосмолопарафиновых отложений // Нефтяное хозяйство. — 2018. — №5. — С. 82–86.
4. Хамиди Х., Мохаммад Н. Влияние ультразвуковых волн на вязкость нефти и нефтепродуктов // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2017. — Vol. 156. — P. 270–278.
5. Губайдуллин Ф.Г., Сулейманов Р.А. Методы борьбы с асфальтосмолопарафиновыми отложениями в трубопроводах // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. — 2019. — №3. — С. 15–21.
6. Кудинов В.А. Физические основы ультразвуковых технологий в нефтегазовой промышленности. — Санкт-Петербург: Лань, 2015. — 240 с.
7. Мастобаев Б.Н. Применение ультразвука для очистки резервуаров от донных отложений // Трубопроводный транспорт нефти. — 2019. — №4. — С. 47–52.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150810>  
УДК 373.1.02:004.896

## КОДСУЗ РОБОТОТЕХНИКА ПЛАТФОРМАЛАРЫ АРКЫЛУУ ЛОГИКАЛЫК ОЙ ЖҮГҮРТҮҮНҮ ӨНҮКТҮРҮҮ

**АЛИБЕКОВА ГҮЛБАРЧЫН УЗАКБАЕВНА**

Окутуучу

**ИМАТАЛИ КЫЗЫ АНАРА**

Магистр, окутуучу

А.Ж.Мырсабеков атындагы Ош МПУ,  
Ош шаары, Кыргызстан

---

**Аннотация.** Кодсуз робототехника платформалары бүгүнкү билим берүү системасында окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн өнүктүрүүнүн натыйжалуу куралы болуп саналат. Бул макалада программалоо билимин талап кылбаган робототехникалык чөйрөлөрдү колдонуу аркылуу окуучулардын аналитикалык жана алгоритмдик ой жүгүртүүсүн калыптандыруу мүмкүнчүлүктөрү каралат [3; 15]. Изилдөөнүн жүрүшүндө визуалдык блоктук интерфейс терди колдонуу окуучуларга маселелерди этап-этабы менен чечүүгө, себеп-натыйжа байланышын түшүнүүгө жана чыгармачыл мамиле жасоого шарт түзөрү аныкталды. Ошондой эле, кодсуз платформалар окуу процессин жеткиликтүү, кызыктуу жана практикалык жактан багытталган кылууга өбөлгө түзөт. Натыйжада, мындай ыкма окуучулардын өз алдынча ой жүгүртүүсүн, көйгөйлөрдү чечүү жөндөмүн жана санариптик сабаттуулугун жогорулатат [9].

**Ачык сөздөр:** кодсуз робототехника, логикалык ой жүгүртүү, алгоритмдик ой жүгүртүү, санариптик билим берүү, визуалдык программалоо, STEM билим берүү, чыгармачылык жөндөм, көйгөй чечүү.

---

## РАЗВИТИЕ ЛОГИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ, НЕ ТРЕБУЮЩИХ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

**АЛИБЕКОВА ГҮЛБАРЧЫН УЗАКБАЕВНА**

Преподаватель

Ошский государственный университет имени А.Ж.Мырсабекова  
г. Ош, Кыргызстан

**ИМАТАЛИ КЫЗЫ АНАРА**

Магистр, преподаватель

Ошский государственный университет имени А.Ж.Мырсабекова  
г. Ош, Кыргызстан

---

**Аннотация.** Платформы безкодовой робототехники являются эффективным инструментом развития логического мышления учащихся в современной системе образования. В данной статье рассматриваются возможности формирования аналитического и алгоритмического мышления у обучающихся посредством использования робототехнических сред, не требующих знаний программирования. В ходе исследования установлено, что применение визуальных блочных интерфейсов способствует поэтапному решению задач, пониманию причинно-следственных связей и развитию творческого подхода. Кроме того, безкодовые платформы делают учебный процесс более доступным, интересным и практико-ориентированным. В результате данный подход повышает

самостоятельность мышления учащихся, их способность к решению проблем и уровень цифровой грамотности.

**Ключевые слова:** безкодированная робототехника, логическое мышление, алгоритмическое мышление, цифровое образование, визуальное программирование, STEM образование, творческие способности, решение проблем.

## DEVELOPING LOGICAL THINKING THROUGH CODE-FREE ROBOTICS PLATFORMS

**ALIBEKOVA GULBARCHYN UZAKBAYEVNA**

The teacher

Osh State University named after A.Zh.Myrsabekov  
Osh city, Kyrgyzstan

**IMATALI KYZY ANARA**

Lecturer, Master's degree

Osh State University named after A.Zh.Myrsabekov  
Osh city, Kyrgyzstan

**Abstract.** *No-code robotics platforms are an effective tool for developing students' logical thinking in the modern education system. This article examines the possibilities of forming analytical and algorithmic thinking in students through the use of robotics environments that do not require programming knowledge. The study found that the use of visual block-based interfaces helps students solve problems step by step, understand cause-and-effect relationships, and develop a creative approach. In addition, no-code platforms make the learning process more accessible, engaging, and practice-oriented. As a result, this approach enhances students' independent thinking, problem-solving skills, and digital literacy.*

**Keywords:** *no-code robotics, logical thinking, algorithmic thinking, digital education, visual programming, STEM education, creativity, problem solving.*

Азыркы санариптик доордо билим берүү системасы түп тамырынан өзгөрүүгө дуушар болууда. Өзгөчө STEM education багытынын өнүгүшү окуучулардын логикалык, аналитикалык жана чыгармачыл ой жүгүртүүсүн калыптандырууга багытталган жаңы ыкмаларды талап кылат [12; 14]. Бул контекстте кодсуз робототехника платформалары өзгөчө актуалдуулукка ээ болуп, программалоо билими жок эле окуучуларды технологиялык процесстерге тартууга мүмкүнчүлүк түзөт [15].

Илимий адабияттарда робототехниканы билим берүүдө колдонуу окуучулардын когнитивдик жөндөмдөрүн өнүктүрүүгө олуттуу таасир этери белгиленген. Мисалы, Seymour Papert тарабынан сунушталган конструктивизм теориясы боюнча билим алуу активдүү аракет аркылуу ишке ашат жана окуучу өз алдынча билимди түзөт [15]. Бул теория робототехникалык платформалар менен иштөөнүн методологиялык негизин түзөт. Ошондой эле, заманбап изилдөөлөрдө (Alimisis, 2013; Eguchi, 2014) робототехника окуучулардын алгоритмдик ой жүгүртүүсүн, көйгөйлөрдү чечүү жөндөмүн жана кызматташтык көндүмдөрүн өнүктүрөрү көрсөтүлгөн [13; 15].

Кодсуз робототехника платформалары визуалдык блоктук программалоо элементтерине негизделип, окуучуларга татаал алгоритмдерди жөнөкөй структуралар аркылуу түшүнүүгө шарт түзөт. Бул болсо algorithmic thinking жана логикалык ой жүгүртүүнүн өнүгүшүнө өбөлгө болот. Мындай платформалар билим берүүнү жеткиликтүү кылып гана тим болбостон, окуучулардын кызыгуусун арттырып, практикалык ишмердүүлүккө багыттайт [6; 7; 8].

Изилдөөнүн актуалдуулугу кодсуз технологиялардын кеңири жайылышы жана билим берүүдө санариптик инструменттерди эффективдүү колдонуу зарылдыгы менен шартталат. Азыркы учурда окуучуларды программалоого даярдоонун баштапкы этабында татаал синтаксистен алыс болгон, бирок логикалык ой жүгүртүүнү өнүктүргөн куралдарды колдонуу маанилүү болуп саналат. Ушул себептен улам, кодсуз робототехника платформаларын колдонуу аркылуу логикалык ой жүгүртүүнү өнүктүрүү маселеси өзгөчө илимий жана практикалык мааниге ээ [4; 10].

Бул макаланын максаты - кодсуз робототехника платформаларынын негизинде окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн өнүктүрүүнүн теориялык жана практикалык аспектилерин талдоо болуп эсептелет. Максатка жетүү үчүн тиешелүү илимий адабияттарды талдоо, педагогикалык ыкмаларды изилдөө жана практикалык сунуштарды иштеп чыгуу милдеттери коюлду.

Билим берүү тармагында робототехниканы колдонуу акыркы жылдары активдүү изилденип жаткан багыттардын бири болуп саналат. Көптөгөн илимий эмгектерде робототехника окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн, чыгармачыл потенциалын жана көйгөйлөрдү чечүү жөндөмүн өнүктүрүүдө маанилүү роль ойной турганы белгиленген. Мисалы, Venitti (2012) жүргүзгөн изилдөөлөрдө робототехниканы билим берүү процессине интеграциялоо окуучулардын окууга болгон кызыгуусун жогорулатары жана практикалык көндүмдөрүн өнүктүрөрү аныкталган. Ошондой эле Alimisis (2013) робототехника аркылуу окутуу окуучуларды активдүү катышууга түрткү берип, кызматташтыкта иштөө көндүмдөрүн калыптандырырын белгилеген.

Кодсуз платформалардын пайда болушу бул багыттагы изилдөөлөрдү жаңы деңгээлге чыгарды. Айрыкча Scratch жана Tinkercad сыяктуу чөйрөлөр программалоону үйрөнүүнү жеңилдетип, визуалдык блоктук структура аркылуу алгоритмдерди түзүүгө мүмкүнчүлүк берет. Бул платформалар башталгыч деңгээлдеги окуучулар үчүн өзгөчө ылайыктуу болуп, татаал синтаксистен качууга шарт түзөт. Изилдөөлөр көрсөткөндөй, визуалдык программалоо чөйрөлөрүн колдонуу окуучулардын алгоритмдик ой жүгүртүүсүн этап-этабы менен өнүктүрүүгө жардам берет (Resnick et al., 2009) [10].

Логикалык ой жүгүртүүнү өнүктүрүү маселеси психология жана педагогика илимдеринде кеңири каралган. Бул багытта Jean Piaget когнитивдик өнүгүү теориясында балдардын ой жүгүртүүсү этаптар аркылуу калыптанаарын негиздеген. Анын теориясына ылайык, окуучулар практикалык аракеттер аркылуу логикалык операцияларды өздөштүрүшөт. Мындан тышкары, Lev Vygotsky социалдык-мәдени теориясында билим алуу социалдык өз ара аракеттенүү аркылуу ишке ашарын белгилеп, окутууда колдоо көрсөтүүнүн маанисин баса белгилеген.

Теориялык негиз катары конструктивизм концепциясы өзгөчө орунду ээлейт. Seymour Papert тарабынан иштелип чыккан конструктивизм окуучулар билимди өз алдынча түзөрүн жана практикалык иш-аракет аркылуу жакшы өздөштүрөрүн көрсөтөт. Робототехника жана кодсуз платформалар дал ушул принциптерге негизделип, окуучуларга өз алдынча эксперимент жүргүзүүгө, моделдерди түзүүгө жана натыйжаларды анализдөөгө мүмкүнчүлүк берет.

Ошондой эле STEM education концепциясы заманбап билим берүүдө интеграцияланган ыкма катары каралат. Бул ыкмада илим, технология, инженерия жана математика өз ара байланышта окутулуп, окуучулардын комплекстүү ой жүгүртүүсүн өнүктүрүүгө багытталат. Робототехника STEM билим берүүнүн негизги элементтеринин бири болуп эсептелет жана практикалык багыттуулугу менен айырмаланат.

Жыйынтыктап айтканда, илимий адабияттарды талдоо робототехника, айрыкча кодсуз платформалар, логикалык жана алгоритмдик ой жүгүртүүнү өнүктүрүүдө натыйжалуу курал экенин көрсөтөт. Теориялык негиздер - конструктивизм жана STEM концепциясы - бул процесстин методологиялык базасын түзүп, билим берүүнүн сапатын жогорулатууга өбөлгө түзөт.

Бул изилдөөдө кодсуз робототехника платформалары аркылуу окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн өнүктүрүү процесси комплекстүү педагогикалык ыкмалардын негизинде каралды. Изилдөөдө сапаттык жана сандык ыкмалар айкалышта колдонулду, бул алынган жыйынтыктардын ишенимдүүлүгүн камсыз кылууга мүмкүндүк берди.

Изилдөөнүн негизги ыкмалары катары эксперимент, байкоо жана тестирилөө тандалды. Эксперименттик ыкма окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүнүн өзгөрүүсүн аныктоого багытталды. Бул максатта эксперименттик жана контролдук топтор түзүлүп, окуу процесси салыштырмалуу негизде жүргүзүлдү. Байкоо ыкмасы аркылуу окуучулардын сабактагы активдүүлүгү, тапшырмаларды аткаруудагы мамилеси жана өз алдынчалуулугу талданды. Ал эми тестирилөө ыкмасы логикалык жана алгоритмдик ой жүгүртүүнүн деңгээлин аныктоо үчүн колдонулду.

Изилдөөгө жалпы билим берүү мекемелеринин окуучулары катышты. Катышуучулар орто класстардын окуучуларынан тандалып алынды, анткени бул куракта логикалык ой жүгүртүү активдүү өнүгүү стадиясында болот. Экспериментке катышкан окуучулар эки топко бөлүндү - бир топто кодсуз робототехника платформалары колдонулса, экинчи топ салттуу окутуу ыкмасы менен билим алды.

Изилдөөдө негизги курал катары визуалдык программалоого негизделген кодсуз платформалар пайдаланылды. Алардын ичинде Scratch жана Tinkercad кеңири колдонулду. Бул платформалар окуучуларга алгоритмдерди блоктук структура аркылуу түзүүгө, роботтук моделдерди виртуалдык же реалдуу шартта башкарууга мүмкүнчүлүк берет [10].

Сабактар алдын ала түзүлгөн структура боюнча уюштурулду. Ар бир сабак төмөнкү этаптарды камтыды - киришүү бөлүгү, жаңы материалды түшүндүрүү, практикалык иш жана жыйынтыктоо. Киришүү бөлүгүндө окуучуларга тема боюнча кыскача маалымат берилди жана кызыктыруучу суроолор коюлду. Негизги бөлүктө мугалим кодсуз платформанын мүмкүнчүлүктөрүн көрсөтүп, тапшырмаларды аткаруунун жолдорун түшүндүрдү.

Практикалык сабактар изилдөөнүн негизги бөлүгүн түздү. Окуучулар ар түрдүү деңгээлдеги тапшырмаларды аткарышты - жөнөкөй алгоритм түзүүдөн баштап, татаал логикалык маселелерди чечүүгө чейин. Мисалы, роботту белгилүү бир багытта кыймылдатуу, шарттык операторлорду колдонуу жана циклдер аркылуу аракеттерди кайталоо сыяктуу тапшырмалар берилди. Бул тапшырмалар окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн этап-этабы менен өнүктүрүүгө багытталды.

Мындан тышкары, ар бир тема боюнча тесттер колдонулду. Тесттик тапшырмалар окуучулардын теориялык билимин жана практикалык көндүмдөрүн текшерүүгө мүмкүндүк берди. Жыйынтыгында алынган маалыматтар салыштырылып, кодсуз робототехника платформаларынын таасири талдоого алынды.

Ошентип, колдонулган методология окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн өнүктүрүүдө кодсуз робототехника платформаларынын натыйжалуулугун комплекстүү баалоого шарт түздү.

Кодсуз робототехника платформалары билим берүү процессинде жөнөкөйлүгү менен айырмаланат. Окуучулар программалоо тилин билбесе да, визуалдык элементтер аркылуу роботту башкарууга жетише алышат. Бул жөнөкөйлүк окуу процессин жеткиликтүү кылып, жаңы темаларды тез өздөштүрүүгө жардам берет.

Визуалдуулук дагы негизги артыкчылыктардын бири болуп эсептелет. Мындай платформаларда маалымат блоктор, схемалар жана графикалык элементтер аркылуу берилет. Натыйжада окуучулар алгоритмдерди көз менен көрүп, алардын логикасын жакшыраак түшүнүшөт.

Программалоосуз башкаруу мүмкүнчүлүгү окуучуларга татаал синтаксисте үйрөнбөстөн эле практикалык иштерди аткарууга шарт түзөт. Мисалы, Scratch жана Tinkercad сыяктуу платформалар блокторду бириктирүү аркылуу башкарууну камсыз кылат. Бул ыкма окуучулардын кызыгуусун арттырып, активдүү катышуусуна өбөлгө түзөт [10].

Кодсуз робототехника платформалары окуучулардын анализ жүргүзүү жөндөмүн өнүктүрөт. Окуучулар берилген тапшырманы бөлүктөргө ажыратып, ар бир кадамды өз алдынча карап чыгышат. Бул болсо системалуу ой жүгүртүүгө алып келет.

Салыштыруу көндүмү да активдүү калыптанат. Окуучулар ар кандай чечимдерди салыштырып, кайсы алгоритм натыйжалуу экенин аныктоого аракет кылышат. Натыйжада логикалык тандоо жасоо жөндөмү жогорулайт.

Себеп-натыйжа байланышын түшүнүү процесси да маанилүү роль ойнойт. Окуучулар ар бир аракеттин натыйжасын байкап, туура же туура эмес чечимдердин себептерин аныкташат. Бул алардын ой жүгүртүүсүн тереңдетип, аналитикалык деңгээлге чыгарат.

Практикалык иштер кодсуз робототехниканы өздөштүрүүнүн негизги бөлүгү болуп саналат. Робот чогултуу процесси окуучуларга техникалык жана логикалык көндүмдөрдү айкалыштырып колдонууга мүмкүндүк берет. Алар деталдарды туура бириктирип, роботтун иштөө принциптерин түшүнүшөт.

Алгоритм түзүү тапшырмалары логикалык ой жүгүртүүнү түздөн-түз өнүктүрөт. Окуучулар белгилүү бир максатка жетүү үчүн кадамдардын тизмегин түзүшөт. Бул процесс алардын пландоо жана системалаштыруу жөндөмүн бекемдейт.

Оюн аркылуу окутуу ыкмасы окуучулардын кызыгуусун жогорулатат. Роботту башкаруу элементтери оюн формасында берилгенде, окуучулар тапшырмаларды жеңил кабыл алып, активдүү катышышат. Мындай ыкма билимди бекемдөөгө жана практикалык көндүмдөрдү өнүктүрүүгө жардам берет.

Изилдөөнүн жыйынтыгында окуучулардын жетишкендиктери байкалды. Кодсуз робототехника платформаларын колдонгон топто логикалык ой жүгүртүү деңгээли жогорулаганы аныкталды. Алар тапшырмаларды тез жана туура аткарууга жетише башташты.

Салыштырма анализ көрсөткөндөй, эксперименттик топ контролдук топко караганда жакшы натыйжаларды көрсөттү. Окуучулардын өз алдынча иштөө жөндөмү, анализ жүргүзүү жана көйгөйлөрдү чечүү көндүмдөрү кыйла жакшырды [15].

Жыйынтыктап айтканда, кодсуз робототехника платформаларын колдонуу окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн өнүктүрүүдө натыйжалуу курал экендиги далилденди.

Изилдөөнүн жыйынтыктарына таянып, кодсуз робототехника платформаларын билим берүү процессине натыйжалуу киргизүү үчүн төмөнкү сунуштар иштелип чыкты.

Биринчи кезекте мугалимдер кодсуз робототехника платформаларынын мүмкүнчүлүктөрүн терең өздөштүрүүсү зарыл. Бул үчүн квалификацияны жогорулатуу курстарына катышуу жана практикалык көндүмдөрдү өнүктүрүү маанилүү. Ошондой эле сабактарды уюштурууда интерактивдүү ыкмаларды колдонуу сунушталат - мисалы, топтук иштер, долбоордук тапшырмалар жана оюн элементтери. Мугалим окуучуларга даяр жоопту бербестен, багыт көрсөтүүчү ролду аткарганы туура. Мындан тышкары, ар бир окуучунун деңгээлин эске алуу менен дифференцияланган тапшырмаларды берүү натыйжалуу болот.

Окуу жайлар заманбап технологиялык базаны түзүүгө көңүл бурушу керек. Тактап айтканда, робототехника үчүн керектүү жабдууларды камсыз кылуу жана санариптик чөйрөнү өнүктүрүү маанилүү. Ошону менен бирге окуу программаларына кодсуз робототехника элементтерин интеграциялоо сунушталат. Мектептерде жана колледждерде атайын лабораторияларды уюштуруу - окуучулардын практикалык ишмердүүлүгүн кеңейтет. Мындан тышкары, мугалимдер үчүн методикалык колдоо көрсөтүү жана тажрыйба алмашуу платформаларын түзүү зарыл.

Билим берүү программаларын иштеп чыгууда кодсуз робототехникага өзүнчө көңүл буруу керек. Программалар логикалык ой жүгүртүүнү өнүктүрүүгө багытталып, этап-этабы менен татаалдашкан тапшырмаларды камтуусу зарыл. Ошондой эле визуалдык программалоо чөйрөлөрүн колдонуу сунушталат, мисалы Scratch жана Tinkercad [6; 7; 10]. Программалар теория менен практиканы айкалыштырган формада түзүлүп, ар бир тема

боюнча практикалык иштер жана тесттер камтылышы керек. Мындан тышкары, STEM багытындагы интеграцияны күчөтүү - билим берүүнүн сапатын жогорулатууга өбөлгө түзөт.

Жыйынтыгында, сунушталган чараларды ишке ашыруу кодоуз робототехника платформаларын натыйжалуу колдонууга жана окуучулардын логикалык ой жүгүртүүсүн өнүктүрүүгө шарт түзөт.

### КОЛДОНУЛГАН АДАБИЯТТАР

1. Копосов Д.Г. Первый шаг в робототехнику. 5–6 классы. Практикум. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2014. – 292 с.
2. Копосов Д.Г. Первый шаг в робототехнику. Практикум для 1–4 классов. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2012. – 292 с.
3. Bagdasaryan L.S. Organization of additional education (Educational robotics): laboratory practical course. – Stavropol: NCFU, 2023. – 210 p.
4. Голиков Д. Scratch 3 для юных программистов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2020. – 168 с.
5. Ибашова А.Б., Сулейменова Л.А. Информатика жана АКТ окутуунун теориялык негиздери. – Шымкент, 2021. – 152 б.

#### Илимий макалалар

6. Asilmametova R.D., Ibashova A.B., Bajyrbekova L.M. Scratch программасы аркылуу окуучулардын эсептөөчү ой жүгүртүүсүн өнүктүрүү. – Шымкент, 2021.
7. Sydykova Zh.I., Ibashova A.B. Scratch негизинде SMART билим берүү чөйрөсүн түзүү. – Шымкент, 2021.
8. Ibashova A.B., Belessova D. Scratch жана робототехника курстарынын билим берүү чөйрөсү. – Sciences of Europe, 2022.
9. Мунбаева А. Education 4.0 жана заманбап педагогикалык ыкмалар. – 2023.
10. Resnick M. et al. Scratch Community Blocks: Supporting children as data scientists. – 2017.
11. Sakai A. et al. PythonRobotics: Open source robotics algorithms. – 2018.
12. Michalopoulos P. et al. STEM жана Arduino негизинде робототехника. – 2022.
13. Plaza P. et al. STEM and educational robotics using Scratch. – IEEE EDUCON, 2019.
14. Yulianti D. et al. Scratch негизинде STEM окутуу ыкмасы. – JPII, 2022.
15. Alimisis D. Educational robotics research in STEM education. – International педагогикалык изилдөөлөр, 2013.

#### Интернет булактар

16. Arduino расмий сайты: <https://www.arduino.cc>
17. Scratch платформасы: <https://scratch.mit.edu>
18. Tinkercad платформасы: <https://www.tinkercad.com>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150864>

## ҚОСЫМША БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІНДЕ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ

### БЕРІК НҰРАСЫЛ НҰРЛАНҰЛЫ

Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің «Математика және ақпараттық технологиялар» факультетінің магистранты

Ғылыми жетекшісі – п.ғ.к., доцент, қолданбалы математика және информатика кафедрасының профессоры **КАЗИМОВА Д.А**  
Қарағанды, Қазақстан

**Аннотация:** Бұл мақалада қосымша білім беру жүйесінде цифрлық технологияларды пайдаланудың инновациялық тәсілдері жан-жақты талданады. Зерттеу барысында цифрлық білім беру кеңістігін құрудың заманауи трендтері, инновациялық платформалар мен оқу орталарының архитектуралық ерекшеліктері, цифрлық педагогикалық дизайнның әдіснамалық негіздері және инновациялық әлеуетті іске асырудың перспективалық бағыттары қарастырылады. Автор заманауи цифрлық құралдардың қосымша білім беруді жекелендіруге, оқу процесінің тиімділігін арттыруға, оқушылардың шығармашылық және практикалық дағдыларын дамытуға тигізетін ықпалын сипаттайды. Сонымен қатар, жасанды интеллект, AR/VR, Big Data, блокчейн сияқты технологиялардың білім беру экожүйесіне енгізілуінің артықшылықтары көрсетіліп, оларды қолданудың болашағы айқындалады. Мақала қосымша білім беру саласында цифрлық трансформацияны жүзеге асырудың теориялық негіздерін ашып, практикалық мүмкіндіктерін көрсетеді.

**Кілт сөздер:** цифрлық білім беру, қосымша білім беру, инновациялық технологиялар, цифрлық педагогикалық дизайн, оқу ортасының архитектурасы, AR/VR, жасанды интеллект, Big Data, блокчейн, оқу аналитикасы, оқу платформалары, жекелендірілген оқыту.

### **Цифрлық білім беру кеңістігін құрудың заманауи трендтері**

Цифрлық білім беру кеңістігін құрудың заманауи трендтері білім беру жүйесін түбегейлі жаңа деңгейге көтеріп отыр. Қазіргі таңда оқу процесі толықтай цифрлық экожүйе негізінде ұйымдастырылып, ақпараттық-коммуникациялық технологиялар білім алушылардың оқу белсенділігін арттырудың негізгі құралына айналды. Бірінші маңызды тренд – қашықтан және аралас оқыту форматтарының тұрақты модельге айналуы. Онлайн платформалар, виртуалды сыныптар, бұлттық қызметтер оқу процесін уақыт пен кеңістікке тәуелсіз етуде. Бұл оқушыларға оқу материалдарына кез келген жерде және кез келген уақытта қол жеткізуге мүмкіндік беріп, білім алуды икемді әрі жекелендірілген етеді.

Екінші тренд – оқу аналитикасы мен Big Data технологияларын қолдану. Қосымша білім беру ұйымдары цифрлық платформалар арқылы оқушылардың оқу белсенділігі, тапсырмаларды орындау уақыты, қиындық тудыратын бөлімдер сияқты көрсеткіштерді жинақтап, оларды талдау негізінде оқу процесін оңтайландырады. Мұндай деректер білім беру мазмұнын бейімдеуге, жеке оқу траекторияларын құруға, оқушылардың әлсіз және күшті жақтарын анықтауға мүмкіндік береді. Автоматты бағалау, карта-схемалар және прогресс мониторингі педагогке де, оқушыға да нақты кері байланыс ұсына отырып, оқыту сапасын арттырады.

Үшінші заманауи тренд – интерактивті және мультимедиялық контенттің кеңеюі. Видеосабактар, 3D модельдер, симуляциялар, AR/VR технологиялары оқу процесін тек теориялық түсіндіруден практикалық тәжірибе жинақтауға бағыттайды. Геймификация элементтері, мобильді қосымшалар және микрооқыту форматтары білім алушылардың қызығушылығын арттырып, олардың белсенді қатысуын қамтамасыз етеді. Мұндай

инновациялық тәсілдер цифрлық кеңістікті тек ақпарат таратушы орта емес, шығармашылық пен тәжірибені біріктіретін интерактивті білім беру алаңына айналдырады.

### ***Инновациялық платформалар мен оқу орталарының архитектурасы***

Инновациялық платформалар мен оқу орталарының архитектурасы қазіргі қосымша білім беру жүйесінің тиімділігін айқындайтын негізгі факторлардың бірі болып табылады. Мұндай платформалар тек оқу материалдарын беру құралы ғана емес, тұтас білім беру экожүйесін қалыптастыруға бағытталған күрделі цифрлық орталар ретінде қарастырылады. Олар білім алушылардың, педагогтердің, ата-аналардың және басқару органдарының өзара әрекеттесуін біріктіретін әмбебап инфрақұрылым құрады. Архитектуралық тұрғыдан алғанда, бұл платформалар модульдік принципке негізделеді, яғни әртүрлі функционалдық бөліктерді біріктіріп, оқу процесінің барлық кезеңдерін автоматтандыруға мүмкіндік береді. Мұндай модульдік құрылым білім беру ұйымдарына қажетті компоненттерді таңдап, оларды оқу мақсаттарына сәйкес үйлестіруге жағдай жасайды.

Оқу платформаларының архитектурасында деректерді сақтау және өңдеу деңгейі ерекше орын алады. Бұл деңгейде оқушылардың жеке деректері, оқу жетістіктері, тапсырмаларды орындау статистикасы, бағалау нәтижелері сияқты ақпараттар жинақталады. Big Data және бұлттық технологиялардың қолданылуы платформаның тұрақтылығын қамтамасыз етіп, үлкен көлемдегі ақпаратты жылдам өңдеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, деректердің қауіпсіздігі архитектураның маңызды элементі болып табылады. Шифрлау, аутентификация және қолжетімділікті басқару жүйелері білім беру процесіндегі ақпараттың қорғалуын қамтамасыз етеді. Бұл әсіресе балалармен жұмыс істейтін қосымша білім беру ұйымдары үшін маңызды әрі міндетті талап.

Инновациялық оқу ортасының тағы бір маңызды бөлігі – аналитикалық деңгей. Бұл деңгей жиналған деректерді өңдеп, оқыту процесіне қатысты шешімдер қабылдауды жеңілдетеді. Аналитикалық құралдар педагогке оқушының прогрессін нақты бақылауға, оқу траекториясын өзгертуге және әрбір білім алушыға жеке қолдау көрсетуге мүмкіндік береді. Мысалы, оқу аналитикасы оқушының тапсырмаларды орындау жиілігін, қиындық туғызатын модульдерді, сабақтағы белсенділік деңгейін автоматты түрде анықтап, ұсыныстар береді. Бұл тәсіл қосымша білім беру жүйесін жекелендіруге, оқу материалдарын бейімдеуге және оқушылардың жетістіктерін арттыруға жағдай жасайды.

Инновациялық платформалардың маңызды архитектуралық элементі – интерфейс пен пайдаланушы тәжірибесі. Оқу ортасының визуалды дизайны, навигациясы, құралдардың орналасуы, интерактивті элементтердің болуы оқушының оқу процесіне қызығушылығын тікелей анықтайды. Заманауи платформалар UX/UI принциптеріне сүйене отырып жасалады, нәтижесінде оқыту материалдары түсінікті, қолжетімді және тартымды форматта ұсынылады. Әсіресе қосымша білім беру саласында оқушылардың жас ерекшелігіне сай интерфейс құру маңызды. Мультимедиялық сабақтар, интерактивті тапсырмалар, балл жинау жүйесі, бейне және аудио контент оқу ортасын тек ақпарат беретін құрал емес, белсенді білім алу алаңына айналдырады.

Соңғы маңызды аспект – инновациялық платформалардың интеграциялық мүмкіндіктері. Қазіргі уақытта оқу ортасының тиімді жұмыс істеуі үшін оның басқа сервистермен үйлесімді байланысуы аса қажет. API арқылы LMS, LXP, виртуалды зертханалар, электрондық журналдар, тестілеу жүйелері, коммуникациялық платформалар бір ортада біріктіріледі. Мұндай интеграция педагогке де, оқушыға да оқу процесін бір орталықтан басқаруға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, платформалардың кеңейтілген функционалы білім беру ұйымдарына жаңа технологияларды оңай енгізуге, оқу бағдарламаларын жылдам жаңартуға және оқу сапасын үздіксіз арттыруға жағдай жасайды. Осылайша инновациялық платформалар мен оқу орталарының архитектурасы қосымша білім беру жүйесін икемді, масштабталатын және инновацияларға бейім экожүйеге айналдырады.

### ***Цифрлық педагогикалық дизайнның әдіснамалық негіздері***

Цифрлық педагогикалық дизайнның әдіснамалық негіздері оқу процесін ғылыми тұрғыда жобалауға және оны қазіргі цифрлық орта талаптарына бейімдеуге бағытталған. Бұл бағыттың басты мақсаты – цифрлық технологиялар арқылы оқу материалдарын тиімді құрылымдап, білім алушылардың танымдық белсенділігін арттыру. Педагогикалық дизайн конструктивизм, когнитивтік теория, интербелсенді оқыту сияқты дидактикалық қағидаларға сүйенеді. Әсіресе қосымша білім беру саласында материалдың жүйелі ұсынылуы, мақсаттардың нақты анықталуы және оқу нәтижелерінің өлшенуі маңызды. Осыған байланысты ADDIE, SAM секілді педагогикалық дизайн модельдері кеңінен қолданылады, олар оқу материалының талдау, жобалау, әзірлеу, іске асыру және бағалау кезеңдерін нақты реттеп береді.

Цифрлық педагогикалық дизайнның маңызды элементтерінің бірі – оқу контентінің форматын әртараптандыру. Мультимедиялық материалдар (бейне, аудио, инфографика, симуляциялар), интерактивті тапсырмалар, онлайн тестілер мен жобалық жұмыстар оқушылардың оқу мотивациясын күшейтіп, оқу процесін тәжірибеге бағытталған етеді. Платформалардың функционалы оқу тапсырмаларын жекелендіруге, оқушының деңгейіне қарай бейімдеуге және оқу барысын динамикалық бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар UX/UI дизайн қағидаларын қолдану оқу ортасын интуитивті түсінікті және қолжетімді етеді, бұл әсіресе балалармен және жасөспірімдермен жұмыс жасағанда өте маңызды. Дұрыс жасалған интерфейс оқу материалын тиімді қабылдауға, зейінді сақтауға және оқу барысында навигацияны жеңілдетуге ықпал етеді.

Әдіснамалық тұрғыдан цифрлық педагогикалық дизайн тек материалды құрумен шектелмейді, ол оқу процесін үздіксіз жетілдіруді де қамтиды. Оқушылардың кері байланысын жинау, оқу аналитикасын қолдану, тапсырмалар мен контенттің тиімділігін бағалау – дизайнның тұрақты жаңаруына мүмкіндік береді. Бұл тәсіл цифрлық білім беру ортасын үнемі динамикалық, заманауи және оқушы қажеттілігіне бейімделген күйде ұстайды. Сонымен қатар, педагогтің кәсіби дамуында да маңызды рөл атқарады, себебі педагог жаңа технологиялар мен әдістерді меңгеру арқылы оқыту сапасын арттырады. Нәтижесінде цифрлық педагогикалық дизайн қосымша білім беру жүйесінде инновациялық, интерактивті және дербестендірілген білім беру ортасын қалыптастыруға мүмкіндік береді.

### ***Инновациялық әлеуетті іске асырудың перспективалық бағыттары***

Инновациялық әлеуетті іске асырудың перспективалық бағыттары қосымша білім беру жүйесінде цифрлық трансформацияның жаңа мүмкіндіктерін айқындайды. Қазіргі кезеңде жасанды интеллект, машиналық оқыту және үлкен деректерді талдау құралдары білім алушылардың жеке оқу траекторияларын қалыптастыруда маңызды рөл атқара бастады. Бұл технологиялар оқушының оқу қарқынын, қиындық тудыратын тақырыптарын, қызығушылықтарын анықтап, автоматтандырылған ұсыныстар мен жеке бағдарланған тапсырмалар ұсынады. Мұндай тәсіл оқытуды жекелендіріп қана қоймай, оқу нәтижелерін болжауға, оқу процесіндегі тәуекелдерді алдын ала анықтауға мүмкіндік береді. Қосымша білім беру саласында бұл бағыт әсіресе робототехника, бағдарламалау, инженерлік жобалау сияқты практикалық бағыттарды меңгеруде тиімді.

Виртуалды және кеңейтілген шындық технологиялары перспективалық инновациялық бағыттардың бірі ретінде тәжірибелік білімді жаңа деңгейде қалыптастыруға жағдай жасайды. AR/VR орталарында оқушылар күрделі процесстерді модельдей алады, нақты өмірде орындалуы қиын немесе қауіпті тәжірибелерді қауіпсіз форматта жүргізе алады. Бұл технологиялар шығармашылық, кеңістіктік ойлау, инженерлік шешім қабылдау сияқты дағдыларды дамытуда айрықша тиімді. Сонымен қатар, интерактивті симуляциялар оқушыларға тереңдетілген зерттеулер жүргізуге, жобалық жұмыстар орындауға және теориялық білімді практикалық жағдайларда қолдануға мүмкіндік береді. Мұндай инновациялар қосымша білім берудің мазмұнын байытып, оқушылардың қызығушылығын арттырады.

Блокчейн технологиясы білім беру жүйесінде жаңа деңгейдегі қауіпсіздікті қамтамасыз ететін перспективалық құралға айналып келеді. Бұл технология арқылы оқу жетістіктерін тіркеу, цифрлық сертификаттар беру және білім алушының портфолиосын автоматтандыру мүмкіндігі артады. Оқу нәтижесін бұрмалау немесе жоғалту қаупі төмендейді, ал білім беру ұйымдары үшін құжат айналымы жеңілдейді. Сонымен қатар, блокчейн негізінде құрылған оқу платформалары оқушылардың өз жетістіктеріне толық иелік етуін қамтамасыз етеді, бұл академиялық ашықтық пен сенімді арттырады. Мұндай жүйелер қосымша білім беру мекемелеріне халықаралық стандарттарға жақын, заманауи және қауіпсіз инфрақұрылым құруға мүмкіндік береді.

Әлеуметтік оқыту платформалары мен онлайн қауымдастықтар да инновациялық әлеуетті жүзеге асырудың маңызды бағыты болып табылады. Мұндай орталарда оқушылар бірлесіп жұмыс істей алады, жобалар орындайды, тәжірибе және идеялар алмасады. Коллаборативті оқыту дағдылары, коммуникация, креативтілік және тимбилдинг қабілеттері дамиды. Сонымен қатар, халықаралық онлайн байқауларға, хакатондарға, шеберлік сыныптарына қатысу мүмкіндігі кеңейіп, оқушылардың жаһандық білім беру кеңістігіне енуіне жол ашады. Осылайша, цифрлық технологиялардың перспективалық бағыттары қосымша білім берудің инновациялық әлеуетін күшейтіп, оны заманауи талаптарға толық сәйкес келетін, динамикалық және болашаққа бағытталған білім беру жүйесіне айналдырады.

### ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бейсенбаева, А. А., & Жанатаев, Т. М. *Цифрлық білім беру педагогикасы*. – Алматы: Ұлағат University Press, 2021.
2. Prensky, M. *Teaching Digital Natives: Partnering for Real Learning*. – Thousand Oaks, CA: Corwin Press, 2010.
3. Redecker, C., & Punie, Y. *European Framework for the Digital Competence of Educators (DigCompEdu)*. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017.
4. Siemens, G. *Connectivism: A Learning Theory for the Digital Age*. *International Journal of Instructional Technology and Distance Learning*, 2005.
5. Жүсіпова, М. С. *Білім берудегі инновациялық технологиялар және цифрлық орта*. – Нұр-Сұлтан: Еуразия гуманитарлық институты, 2020.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150913>

## AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT VƏ SƏNAYE UNİVERSİTETİ

MƏMMƏDOVA TAMILLA ABUSƏİD Q., HACIYEVA RƏNA FƏRƏMƏZ Q.,  
RÜSTƏMOVA FİDAN BƏXTİYAR Q.

Avtomatlaşdırma məqsədləri üçün Böyük Məlumatların təhlili

**Abstrakt.** Böyük Məlumatın əhəmiyyəti daha yaxşı proqnozlar təqdim etməklə daha düzgün qərarverməni asanlaşdırmasındadır; bu da maşınların müxtəlif vəziyyətlərə uyğun düzgün addımlar atmaq üçün intellektual imkanlarını artırır. Məlumatın təhlili onun dəyərini xeyli artırır. Böyük Məlumat Mühəndisliyi (Big Data Engineering – BDE) Böyük Məlumat Analitikasının (Big Data Analytics – BDA) əsasını və infrastrukturunu formalaşdırır. BDE emal və saxlanma fəaliyyətlərini əhatə edir. Tikinti layihələrində müxtəlif maraqlı tərəflər böyük həcmdə məlumat yaradır və bu məlumatlar müştərinin tələblərindən, layihənin ölçüsündən, mövcud texnologiyalardan, maraqlı tərəflərdən və əvvəlki təcrübələrdən asılı olaraq müxtəlif üsullarla saxlanılır və paylaşılır. Məlumatın saxlanması və paylaşılması üçün ən effektiv üsul mərkəzi bir repozitoriyanın yaradılmasıdır; burada məlumat real vaxt rejimində saxlanıla, paylaşıla, əlaqələndirilə və audit oluna bilər. Bu iş əməkdaşlıq texnologiyalarının tətbiqi ilə mümkündür.

**Açar sözlər:** Böyük Məlumatlar, avtomatlaşdırma, məlumat dəstələri

Böyük Məlumat (Big Data) yalnız ölçüsünə görə müəyyən edilmir; o, beş əsas xüsusiyyətlə — yəni “beş V” ilə xarakterizə olunur. Bu zaman **Həcm (Volume)**, **Müxtəliflik (Variety)** və **Sürət (Velocity)** anlayışlarını sadalanır və izah edilir, Böyük Məlumatın əsas xüsusiyyətləri kimi **Etibarlılıq (Veracity)** və **Dəyər (Value)** anlayışları əlavə edilir.

• **Həcm (Volume):** İstifadəçilər, maşınlar tərəfindən yaradılan və ya xarici mühitdən əldə olunan məlumatların ölçüsü və ya miqdarıdır. Məlumatın həcmi terabaytlardan petabaytlara qədər dəyişə bilər.

• **Müxtəliflik (Variety):** Məlumatın fərqli formatlarını və mənbələrini ifadə edir. Məlumatla dəqiqlik qazandırmaq üçün əlavə edilən yer, zaman və digər metadata kimi göstəricilər strukturlaşdırılmış və strukturlaşdırılmamış məlumat dəstələri yaradır.

• **Sürət (Velocity):** Məlumatın yaradıldıqdan, qeydə alındıqdan, yeniləndikdən və ölçüldükdən sonra istifadəyə nə qədər tez hazır olmasıdır. Məlumat aylıq, həftəlik, gündəlik və ya fasiləsiz olaraq yenilənə bilər. Məlumatın real vaxt rejimində əlçatan və istifadəyə hazır olması şirkətin rəqabət qabiliyyətini əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

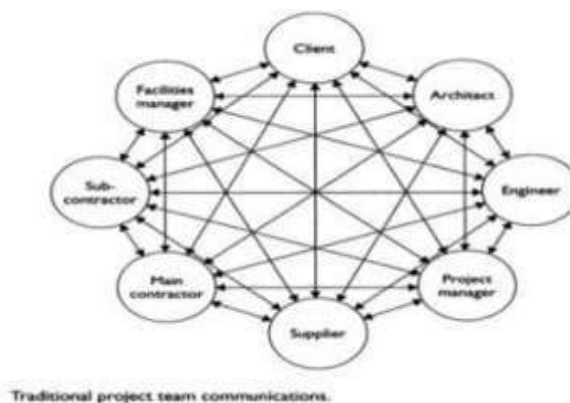
“Böyük” anlayışı daha çox məlumatın həcmi ilə deyil, onun müxtəlifliyi və sürəti ilə bağlıdır.

• **Etibarlılıq (Veracity):** Məlumat dəstələrinin etibarlılığıdır; yalnız ardıcıl, tam və aydın olan məlumatlar saxlanmalı, istifadə olunmalı və paylaşılmalıdır.

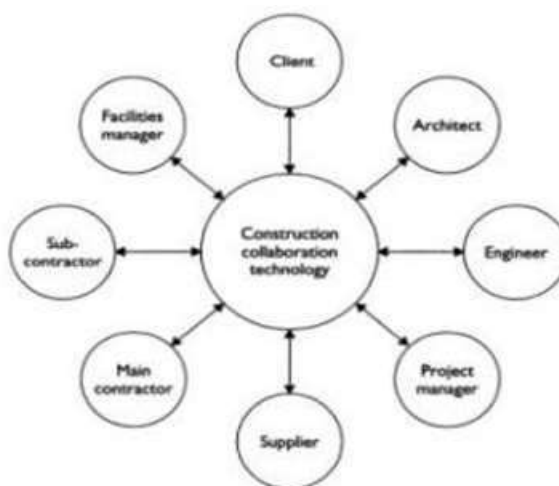
• **Dəyər (Value):** Məlumat dəstələrinin məqsədlərini və biznesin bu məlumatlardan necə dəyər yarada biləcəyini ifadə edir.

Burada bu beş V-ni nəzarət altında saxlamaq asan deyil; buna görə də “Böyük Məlumat” anlayışının yerini “Ağıllı Məlumat” (Smart Data) anlayışı tutmalıdır. Bu yanaşmada məlumatın incəlik səviyyəsi daha vacib sayılır və ya problemlərin birbaşa həllinə, ya da onları idarə edilməsi və nəzarəti daha asan olan kiçik problemlərə bölməyə kömək edir.

Şəkil 1.1-də bu yanaşma sxematik şəkildə izah edilir.



Traditional project team communications.



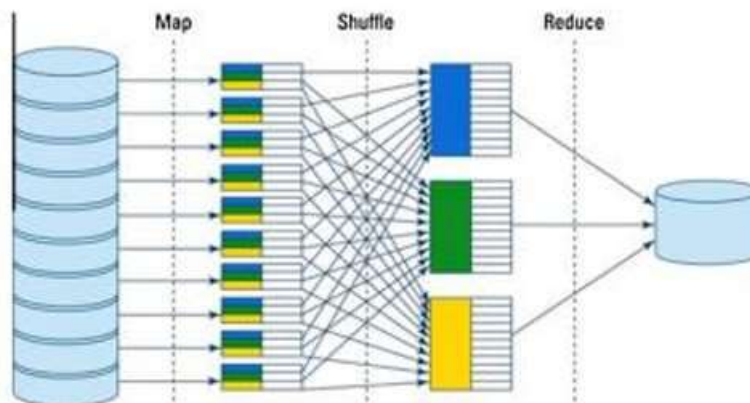
Project team communications using construction collaboration technologies.

Şəkil 1.1. Ənənəvi metod ilə əməkdaşlıq (kollektiv) metodunun kommunikasiya və məlumat paylaşımı baxımından müqayisəsi

Əvvəl qeyd olunan repozitoriya layihənin bütün həyat dövrü ərzində məlumatların etibarlı şəkildə saxlanması təmin edəcəkdir. Bu tip texnologiya məlumat sızmasını və itkilərini azaltsa da, müxtəlif layihələrdən bu şəkildə məlumat toplayan şirkət üçün informasiya və intellektual aktivlərin həcmi xeyli artıracaqdır. Bu məlumatları strukturlaşdırmaq, süzgedən keçirmək və onlardan maksimum fayda əldə etmək üçün onların emalı zəruridir. Tikinti sənayesində tətbiq olunan ən geniş yayılmış Böyük Məlumat emalı modellərindən biri **MapReduce (MR)** modelidir. MR modeli vasitəsilə Böyük Məlumat paylanmış paralel model əsasında emal olunur.

**Map** mərhələsində məlumat oxunur və müəyyən emal prosesindən keçirilərək aralıq nəticələr yaradılır. **Reduce** mərhələsində isə Map mərhələsindən əldə edilən aralıq nəticələr emal olunaraq yekun nəticələr formalaşdırılır və fayl sistemində saxlanılır.

Şəkil 1.2 MapReduce prosesinin vizual izahını təqdim edir.



Şəkil 1.2. MapReduce prosesinin vizual icmalı

Böyük Məlumatın emalı hissəsi real vaxt rejimində işləməlidir ki, məlumat dərhal əldə olunsun və maşın bu məlumatı gecikmə olmadan çağıraraq icra etsin; əks halda gecikmə keyfiyyətə mənfi təsir göstərə və səmərəliliyi azalda bilər.

Böyük Məlumatın təhlili üçün bir çox texnika mövcuddur; bu işin çərçivəsində yalnız avtomatlaşdırma və robototexnika mövzuna töhfə verə bilən texnikalara diqqət yetirilir.

**Məlumatların çıxarılması (Data Mining):** Bu texnikanın əsas məqsədi böyük həcmdə tarixi məlumatların tam və ya yarı-avtomatik araşdırılması və təhlili yolu ilə müəyyən qanunauyğunluqların və ya qaydaların aşkar edilməsidir. Bu texnika mürəkkəb suallara cavab vermək, qaydalar tapmaq, proqnozlar vermək və ehtimalları qiymətləndirmək kimi nəticələr yaratmaq gücünə malikdir.

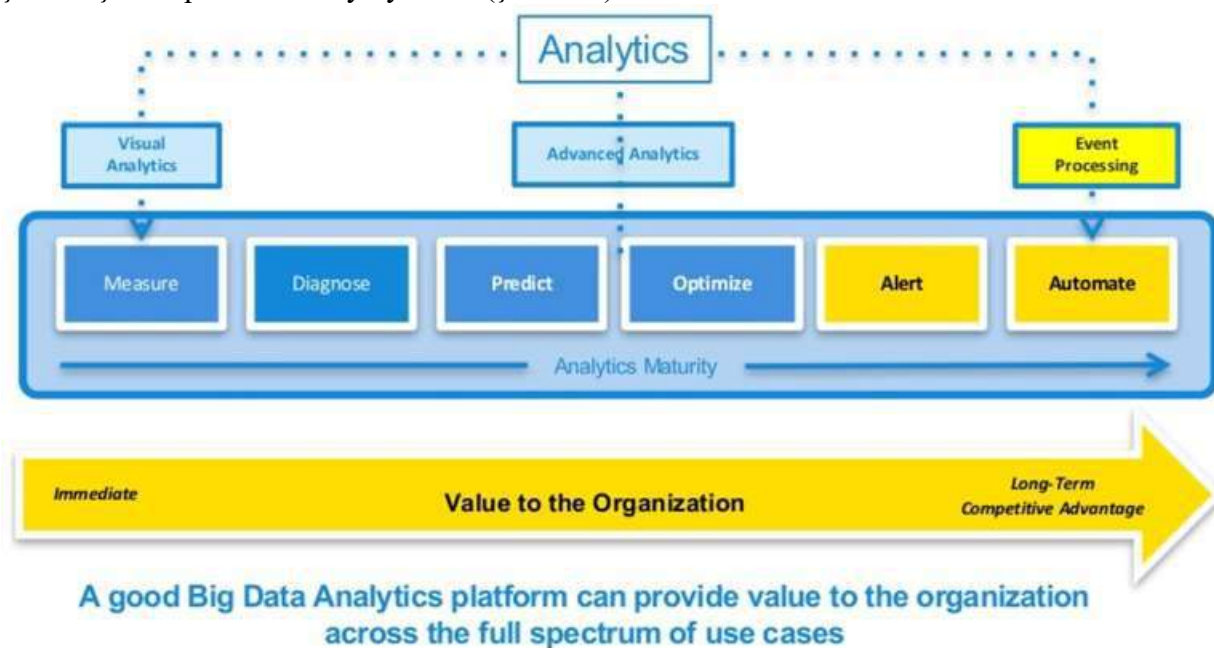
**Maşın öyrənməsi (Machine Learning):** Süni intellekt sahələrindən biridir və hesablama sistemlərini gücləndirməklə müəyyən tapşırıqlar üzrə avtomatik öyrənməni təmin etməyi hədəfləyir. Bu tip təhlil proqnozların optimallaşdırılmasına və nəzarətli öyrənməyə kömək edir. Bu çərçivədə toplanmış məlumatların maşınların avtomatlaşdırılmasında istifadəsinə kömək edən təsnifat texnikaları izah olunur.

**Təsnifat texnikaları (Classification Techniques):** Bu, maşınların nəzarətli öyrənmə texnikasıdır; burada hesablama sistemləri oxşar hallar üzrə əvvəllər verilmiş düzgün qərarları nəzərdən keçirərək avtomatik qərarlar qəbul edir. Bu yanaşma konkret və fokuslanmış qərarların tələb olunduğu vəziyyətlər üçün daha uyğundur. Əvvəlki qərarların keyfiyyəti və dəqiqliyi cari qərarların keyfiyyətini birbaşa müəyyən edir. Sonradan bu tip təhlildə istifadə olunan alqoritmlər düzgün qərarları təqlid edə bilər. Bu təsnifat texnikalarına aid bəzi alqoritmlər aşağıdakılardır.

**Naive Bayes təsnifatçısı:** Bu alqoritm mürəkkəb tikinti sahəsində işçilərin və ağır texnikanın fəaliyyətlərini avtomatik təsnif etmək üçün çərçivə yarada bilər. Naive Bayes sadə, lakin müxtəlif sənaye sahələrində geniş istifadə olunan çox məşhur alqoritmdir. Bu tip təhlil avtomatlaşdırılmış maşınlarla ətraf mühitdə baş verən fəaliyyətləri qiymətləndirməyə və düzgün qərar qəbul etməyə kömək edə bilər.

**Genetik alqoritmlər:** Genetik alqoritmlərdən istifadə edərək iş qrafiki tərtib edilərkən iş sahəsində yaranan riskləri qiymətləndirməyə və icra mərhələsində adətən baş verən toqquşmaların qarşısını almağa kömək edən BIM sistemi inkişaf etdirmişlər; bu sistem “aktiv BIM” adlandırılır. Avtomatlaşdırılmış maşınlar bu tip alqoritmlərdən istifadə etməklə insan davranışına oxşar məntiq və düşüncə formalaşdırma bilirlər. Avtomatlaşdırılmış maşın və ya robot dizayn və layihə məlumatlarını oxuduqdan sonra oxşar fəaliyyətlərə dair bütün metadata ilə birlikdə tarixi məlumatları, eləcə də insan bilik və davranışlarını ehtiva edən mərkəzi repozitoriyaya çıxış əldə etməlidir. Daha sonra yuxarıda qeyd olunan alqoritmlərdən və təhlil üsullarından birini tətbiq etməklə işi icra edərkən insan davranışını və məntiqi anlayışı təqlid edə bilməlidir. İcra zamanı məlumatların toplanması və performansın qiymətləndirilməsi vacibdir ki, lazımi hallarda məlumatların və ya alqoritmlərin düzəldilməsi mümkün olsun; bu isə axın analitikasına (streaming

analytics) keçidi asanlaşdırır. Bundan əlavə, bu qapalı dövr robotun imkanlarını daha da artırır və şirkət üçün rəqabət üstünlüyü yaradır (şəkil 1.3).



Şəkil 1.3. Avtomatlaşdırma məqsədləri üçün Böyük Məlumatın təhlil dövrü

### İSTİFADƏ OLUNAN ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Abdul-Aziz, A.R., & Mohmad, M.-D. (2010), "Project manager competencies in undertaking construction project", Seri Iskandar, Perak.
2. Barfield, W., Zeltzer, D., Sheridan, T., & Slater, M. (1995). "Presence and performance within virtual environments", *Virtual environments and advanced interface design*, 473-513.
3. Bilal, M., Oyedele, L.O., Qadir, J., Munir, K., Ajayi, S.O., Akinade, O.O., Owolabi, H.A., Alaka, H.A. & Pasha, M. (2016), "Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends", *Advanced Engineering Informatics*, vol. 30, no. 3, pp. 500-521.
4. Corbin, J. & Strauss, A. (2008), "Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory (3rd ed.)", Thousand Oaks, CA: Sage.
5. Courtney, M. (2012), "Puzzling out big data", *Engineering & Technology*, vol. 7, no. 12, pp. 56-60. 34 CHALMERS, Architecture and Civil Engineering, Master's Thesis ACEX30-18-51
6. Dean, J. & Ghemawat, S. (2008), "MapReduce: simplified data processing on large clusters", ACM, New York.
7. Demsetz, L. (1990), "Automated Construction: Manufacturing has become highly automated - so why not building construction?", *Construction Dimensions*, pp. 79-85.
8. De Wit, B. & Meyer, R. (2014), "Strategy: an international perspective", Andover, Cengage Learning.
9. Egan, J. (1998), "Rethinking Construction: Report of the Construction Task Force", HMSO, London.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150927>

УДК 004.7+004.43

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ GOLANG И PYTHON

УБАЙДУЛЛАЕВ АЛИБЕК МАРЛЕНОВИЧ

Магистрант Казахского университета технологии и бизнеса имени К.Кулажанова

Научный руководитель – КАСЕКЕЕВА А.Б.

Астана, Казахстан

**Аннотация.** Статья посвящена проектированию и экспериментальной оценке гетерогенной распределенной системы обработки больших данных, в которой функции координации, маршрутизации и управления нагрузкой реализованы на языке Golang, а аналитические вычисления, ETL-процессы и ML-инференс выполняются на Python. Предложена многоуровневая архитектура с очередью сообщений, пулом вычислительных узлов и сервисом координации на основе etcd. Экспериментальное сравнение последовательной и распределенной моделей обработки проводилось на объемах данных от 100 МБ до 20 ГБ. Результаты показали прирост производительности от 73 до 85 процентов при переходе к распределенной обработке, а также нелинейное снижение задержки при масштабировании кластера от 1 до 16 узлов. Установлено, что эффективность системы определяется не только выбором языка программирования, но и качеством архитектурного разделения обязанностей между компонентами. Практическая значимость результатов состоит в возможности использования предложенного подхода при проектировании промышленных информационных систем с высокой нагрузкой.

**Ключевые слова:** большие данные, распределенная обработка данных, Golang, Python, микросервисная архитектура, очередь сообщений, Dask, масштабируемость, throughput, latency.

### ВВЕДЕНИЕ

Рост объемов цифровых данных в корпоративных, научных и государственных информационных системах приобрел характер устойчивой тенденции. По данным аналитических источников, суммарный объем генерируемых данных удваивается каждые два-три года, что порождает серьезные инфраструктурные вызовы для систем их хранения, передачи и обработки. Традиционные монолитные архитектуры, рассчитанные на вертикальное масштабирование, сталкиваются с физическими и экономическими ограничениями при достижении определенного порога нагрузки [4]. Увеличение объема оперативной памяти или производительности процессора одного узла не обеспечивает линейного прироста пропускной способности системы, а сам процесс масштабирования требует остановки сервиса. Альтернативой служит горизонтальное масштабирование посредством распределения вычислительной нагрузки между несколькими узлами, каждый из которых обрабатывает свою часть задач. Такая модель обеспечивает линейный или близкий к линейному прирост производительности при добавлении ресурсов и позволяет сохранять работоспособность системы при выходе из строя отдельных узлов [5]. Исследования в области распределенной аналитики больших данных показывают, что именно архитектурное разделение ответственности между компонентами - а не наращивание аппаратных ресурсов - определяет реальную пропускную способность системы [4].

В контексте информационных систем распределенная обработка данных решает не только задачу производительности, но и задачу организации потоков данных между разнородными источниками: реляционными базами данных, потоковыми источниками

событий, файловыми хранилищами и внешними API. Именно поэтому выбор технологического стека имеет архитектурное, а не только инструментальное значение [2].

Golang и Python представляют собой технологически взаимодополняющую пару для построения таких систем. Golang компилируется в нативный код, имеет встроенную модель конкурентности на основе goroutine и каналов, минимальные накладные расходы при создании тысяч параллельных потоков выполнения и детерминированное поведение при высокой сетевой нагрузке. Эти свойства делают его предпочтительным выбором для реализации сервисов приема данных, балансировщиков нагрузки, координаторов кластера и модулей управления очередью. Python, в свою очередь, обладает богатой экосистемой библиотек для работы с данными: NumPy, Pandas, Dask, Scikit-learn позволяют реализовывать сложные аналитические пайплайны и ML-модули без написания низкоуровневого кода [9]. Dask, в частности, предоставляет API для распределенных вычислений, совместимый с интерфейсом Pandas, что упрощает портирование существующей аналитической логики в распределенную среду [9].

Вопрос об оптимальной архитектуре системы, использующей оба языка совместно, остается открытым. Большинство существующих решений либо полностью ориентированы на один технологический стек, либо не формализуют принципы разделения ответственности между компонентами. Настоящее исследование направлено на разработку архитектурной модели, обоснование разделения функций между Golang и Python, а также на количественную оценку эффективности предложенного подхода.

Цель исследования - разработать и экспериментально оценить архитектуру распределенной системы обработки больших данных, в которой функции координации и маршрутизации реализованы на Golang, а аналитические вычисления на Python.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

Архитектура предлагаемой системы. Разработанная архитектура построена по принципу многоуровневого разделения ответственности. Система включает семь функциональных компонентов, взаимодействующих через стандартизированные интерфейсы: узел приема данных, очередь сообщений, модуль распределения задач, пул вычислительных узлов, сервис координации, хранилище результатов и модуль мониторинга. Все компоненты первого уровня (прием, маршрутизация, координация) реализованы на Golang; вычислительный слой построен на Python. Узел приема данных реализован в виде gRPC-сервера на Golang с поддержкой потоковых запросов (server-side streaming). Входящие данные валидируются, приводятся к унифицированному формату и помещаются в тему Apache Kafka через синхронного продюсера. Golang выбран для этого уровня по причине низких накладных расходов при работе с тысячами одновременных соединений: модель горутин позволяет обрабатывать каждое соединение в отдельном легковесном потоке без значительного потребления памяти [6].

Модуль распределения задач реализован как отдельный микросервис на Golang, который читает задачи из Kafka и направляет их в нужный вычислительный узел посредством HTTP/gRPC. Балансировка реализована по алгоритму least connections с учетом текущей загрузки узла. При обнаружении сбоя узла задача возвращается в очередь повторно. Такой подход к отказоустойчивости обеспечивает гарантированную доставку задачи без потери данных [5].

Вычислительные узлы - Python-процессы, каждый из которых запускает Dask-worker. При получении задачи через HTTP узел десериализует данные, выполняет необходимые вычисления (агрегация, трансформация, ML-инференс или ETL-операции), после чего записывает результат в хранилище. Dask обеспечивает параллелизм внутри узла, распределяя операции над фреймами данных между ядрами процессора [9]. Использование библиотек NumPy и Pandas позволяет применять векторизованные операции, существенно ускоряющие числовые вычисления по сравнению с циклическими конструкциями. Координация кластера обеспечивается через etcd: каждый вычислительный узел при старте

публикует в нем свой адрес и статус, а планировщик подписывается на watch-события, получая уведомления о подключении и отключении узлов без дополнительного polling. Аналогичный механизм service discovery в распределенных информационных системах описан в [2]. Хранилище результатов разделено по типу данных: структурированные записи пишутся в PostgreSQL, высокочастотные временные серии - в Apache Cassandra. Мониторинг реализован через Prometheus: Go-экспортер собирает метрики инфраструктуры (goroutine count, GC pause, HTTP latency), Python-агент на вычислительных узлах передает показатели загрузки CPU и очереди задач в Prometheus Pushgateway.

Эксперименты проводились в изолированной виртуализированной среде. Каждый вычислительный узел: виртуальная машина с 4 vCPU (Intel Xeon Gold 6148, 2.4 GHz), 8 ГБ ОЗУ, ОС Ubuntu 22.04 LTS. Координирующий сервер: 8 vCPU, 16 ГБ ОЗУ. Сетевое взаимодействие: виртуальная сеть с пропускной способностью 10 Гбит/с. Apache Kafka 3.6 развернут на трех брокерах. Версии языков: Go 1.21, Python 3.11, Dask 2024.1.

Тестовые данные представляли собой полуструктурированные JSON-документы, имитирующие записи событий информационной системы (лог-события, пользовательские транзакции). Объем тестовых наборов варьировался от 100 МБ до 20 ГБ. Для каждого объема было выполнено по пять запусков; в таблицах и диаграммах представлены медианные значения.

Для количественного сравнения вариантов использовались следующие метрики:

- Throughput (пропускная способность): количество задач, обработанных в единицу времени (задач/с);
- Latency (задержка): время от поступления задачи в очередь до записи результата (мс);
- Processing time (время обработки): суммарное время выполнения задания на тестовом наборе (с);
- CPU utilization: средняя загрузка процессора по всем узлам за период эксперимента (%);
- Memory usage: потребление оперативной памяти в пиковый момент нагрузки;
- Fault tolerance: поведение системы при принудительном отключении одного из узлов в процессе обработки;
- Scalability: зависимость throughput и latency от числа вычислительных узлов в диапазоне 1-16.

Для сравнения были реализованы два варианта: а) последовательная обработка данных - один Python-процесс без распределения задач; б) распределенная обработка - кластер из 8 вычислительных узлов с координацией через Golang-сервис и очередь Kafka. Алгоритм обработки (агрегация, фильтрация, вычисление статистик) был идентичен для обоих вариантов. Алгоритмические аспекты масштабирования вычислительных задач рассмотрены в [1, 8].

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Таблица 1 - Архитектурные компоненты распределенной системы и их функции**

Компонент	Технологическая реализация	Функция в системе	Ожидаемый эффект
Узел приема данных	Golang (net/http, gRPC)	Прием входящих потоков данных, валидация и маршрутизация запросов	Высокая пропускная способность, минимальная задержка на входе
Очередь сообщений	Apache Kafka / RabbitMQ	Буферизация задач, разделение потоков производителя и потребителя	Устойчивость к пиковым нагрузкам, асинхронная обработка

Модуль распределения задач	Golang (goroutines, channels)	Балансировка нагрузки между вычислительными узлами, мониторинг доступности	Равномерное распределение нагрузки, отказоустойчивость
Вычислительные узлы	Python (Dask, NumPy, Pandas, Scikit-learn)	Выполнение аналитических задач, ETL-процессов, ML-инференса, batch processing	Гибкость вычислений, поддержка сложных аналитических пайплайнов
Сервис координации	Golang + etcd / ZooKeeper	Управление состоянием кластера, регистрация узлов, health-check	Согласованность метаданных, быстрое обнаружение сбоев
Хранилище результатов	PostgreSQL / Apache Cassandra	Запись обработанных данных, поддержка аналитических запросов	Долгосрочное хранение, масштабируемость записи
Модуль мониторинга	Prometheus + Grafana (Go exporter)	Сбор метрик throughput, latency, CPU/RAM, визуализация состояния системы	Оперативное обнаружение узких мест, SLA-контроль

Из таблицы 1 видно, что Golang охватывает все компоненты, работающие с сетевыми соединениями и управлением потоками, - то есть те, где критична задержка и предсказуемость. Python сосредоточен на вычислительном слое, где определяющим фактором служит не скорость отклика, а производительность числовых операций и доступность аналитических библиотек. Apache Kafka между уровнями выполняет роль развязки: скорость поступления данных и скорость их обработки перестают быть жестко связанными, что позволяет системе поглощать пиковые нагрузки без потери сообщений [4], [7].

**Таблица 2 - Сравнение последовательной и распределенной обработки данных**

Объем данных	Последовательная обработка, с	Распределенная обработка, с	Прирост производительности, %
100 МБ	14,3	3,8	73,4
500 МБ	68,7	14,2	79,3
1 ГБ	137,4	26,9	80,4
5 ГБ	694,2	118,6	82,9
10 ГБ	1382,5	221,7	83,9
20 ГБ	2764,8	416,3	84,9

Данные таблицы 2 демонстрируют устойчивое преимущество распределенной модели на всем диапазоне тестовых объемов. При объеме 100 МБ прирост составил 73,4 процента - несколько ниже, чем при больших объемах, что объясняется фиксированными накладными расходами на инициализацию очереди и установку соединений между компонентами. С ростом объема данных фиксированные накладные расходы амортизируются, и прирост производительности выходит на уровень 83-85 процентов. При объеме 20 ГБ последовательная модель требовала более 46 минут обработки, тогда как распределенная завершала задание за 416 секунд. Прирост производительности при переходе от 1 ГБ к 20 ГБ остается практически постоянным, что свидетельствует о стабильной масштабируемости предложенной архитектуры [6].

**Таблица 3 - Изменение задержки обработки при увеличении числа узлов**

Количество узлов	Средняя задержка, мс	Пропускная способность, задач/с	Использование CPU, %
1	487	12,4	91,2
2	263	23,1	87,6
4	138	44,7	82,3
6	97	63,8	78,9
8	74	81,2	74,1
12	58	112,6	71,4
16	51	138,3	69,7

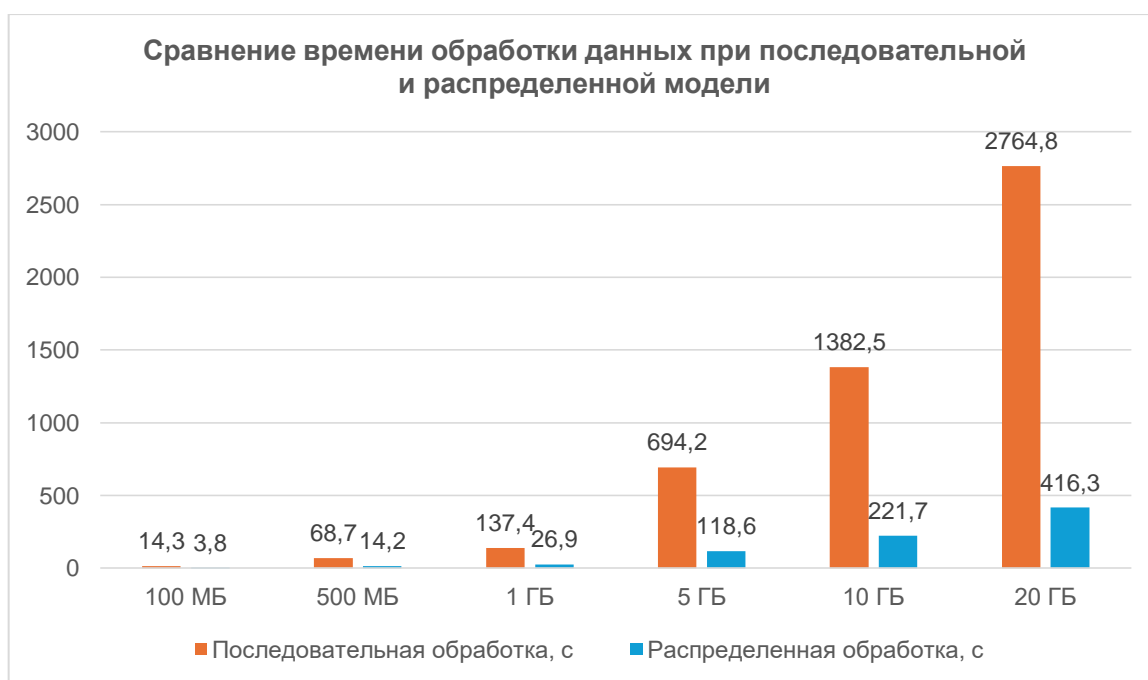
Таблица 3 фиксирует зависимость ключевых метрик от числа вычислительных узлов при фиксированном объеме тестового набора (5 ГБ). При переходе от 1 к 4 узлам задержка снижается более чем в три раза - с 487 до 138 мс: каждый узел получает примерно четверть очереди, и ожидание перед выполнением задачи пропорционально сокращается. Начиная с 8 узлов снижение задержки замедляется: разница между 8 и 16 узлами составляет всего 23 мс. Объяснение - при значительном числе узлов накладные расходы на координацию и сетевое взаимодействие начинают занимать заметную долю суммарного времени обработки. Пропускная способность растет практически линейно до 8 узлов (с 12,4 до 81,2 задач/с), после чего темп роста снижается. Загрузка CPU падает с 91,2 процента на одном узле до 69,7 процента на 16 - каждый узел перестает работать на пределе, что снижает риск тепловых throttling-событий и повышает стабильность обработки. Подобный характер масштабирования типичен для систем с централизованным координатором [5, 6].

**Таблица 4 - Сравнение функций Golang и Python в архитектуре системы**

Уровень системы	Golang	Python	Причина разделения функций
Прием и маршрутизация	HTTP/gRPC-сервер, парсинг запросов, валидация	Не используется	Golang обеспечивает минимальную задержку при высоком параллелизме запросов
Управление очередью	Kafka-продюсер, контроль потоков, АСК-подтверждения	Kafka-консьюмер при необходимости batch-чтения	Разделение роли записи и чтения между компонентами
Распределение задач	Планировщик с goroutine-пулом, балансировщик нагрузки	Не используется	Golang поддерживает тысячи легковесных goroutine без значительных накладных расходов
Вычислительный слой	Не используется	Dask, Pandas, NumPy, Scikit-learn, ML-инференс	Python имеет развитую экосистему для аналитики и ML, недоступную в Golang
Координация кластера	etcd-клиент, heartbeat, service discovery	Не используется	Требует низкоуровневого управления состоянием и сетевыми соединениями
Мониторинг	Prometheus exporter, метрики goroutine и HTTP	Python-агент для сбора метрик	Разделение метрик инфраструктуры и вычислительных показателей

		ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ	
--	--	-------------------------	--

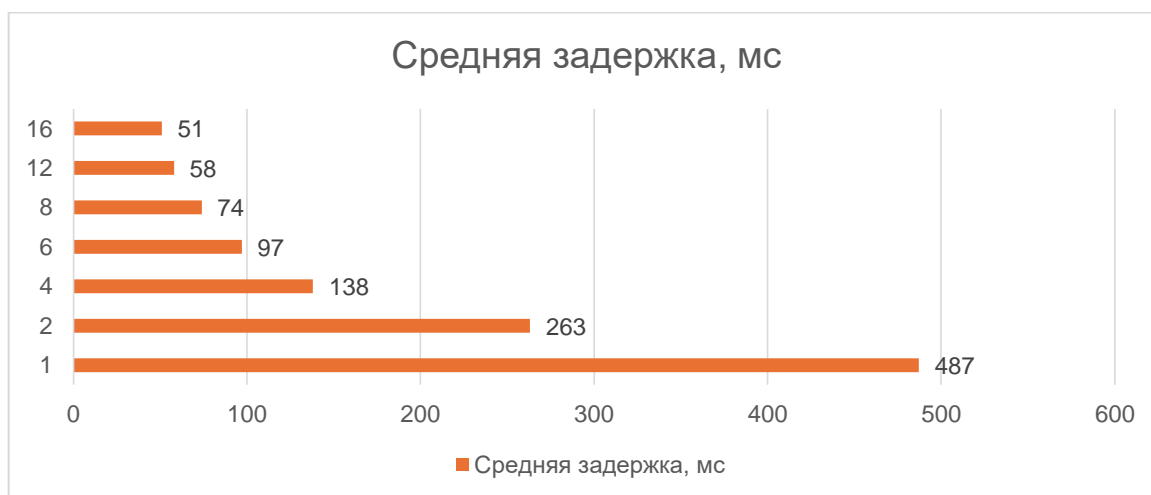
Таблица 4 фиксирует границу ответственности между языками. Golang не производит никаких аналитических вычислений - его задача исчерпывается управлением соединениями, маршрутизацией и координацией. Python не касается сетевого уровня - он получает задачу через HTTP и возвращает результат в хранилище. Граница проходит именно там, где заканчивается детерминированная сетевая логика и начинаются вычисления над данными. Такое разграничение позволяет независимо масштабировать и оптимизировать каждый слой: скорость Golang-координатора не зависит от объема вычислений в Python-узлах, и наоборот. Применение Dask на вычислительных узлах дополнительно обеспечивает ленивые вычисления с автоматической разбивкой датафреймов на чанки, что снижает пиковое потребление памяти при обработке больших наборов данных [9]. Схожие принципы разделения вычислительной и координационной логики применяются в системах обработки больших научных данных - в частности, в радиоастрономическом пайплайне Dask-MS, где Python-воркеры также отделены от инфраструктурного уровня управления [9, 3].



**Рисунок 1 - Сравнение времени обработки данных при последовательной и распределенной модели**



**Рисунок 2 - Зависимость пропускной способности от количества вычислительных узлов**



**Рисунок 3 - Средняя задержка обработки при масштабировании системы**

### ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты подтверждают исходную гипотезу. Прирост производительности достигает 79,3 процента уже на объеме 500 МБ и стабилизируется на уровне 84-85 процентов начиная с 5 ГБ (таблица 2). Механизм выигрыша очевиден: при распределенной обработке 8 узлов разбирают очередь параллельно, и суммарное время определяется наиболее длительной задачей в партии, а не суммой длительностей всех задач. При последовательной модели время растет строго линейно с объемом - 137 секунд на 1 ГБ и 2765 секунд на 20 ГБ, то есть коэффициент масштабирования равен единице. Распределенная модель при тех же объемах дает коэффициент порядка 0,15, что и формирует наблюдаемый прирост.

Особое внимание заслуживает поведение системы при масштабировании. Прирост пропускной способности от 1 до 8 узлов близок к линейному (коэффициент масштабирования составляет около 0,82 от идеального линейного). Это соответствует результатам, описанным в литературе по геораспределенным вычислительным системам [6], где накладные расходы на коммуникацию между узлами снижают реальную эффективность масштабирования по сравнению с теоретической. Дальнейший рост числа узлов (от 8 до 16)

дает заметно меньший прирост пропускной способности при продолжающемся снижении задержки. Это указывает на то, что при данном объеме тестового набора и данной конфигурации балансировщика точкой убывающей отдачи является диапазон 8-12 узлов. Ограничения предложенной архитектуры связаны прежде всего с централизацией координации. Сервис на основе etcd является единой точкой принятия решений о распределении задач. При потере доступности etcd кластер временно теряет способность принимать новые задачи. Вторым ограничением является накладной расход на сериализацию данных при передаче между Golang- и Python-компонентами: использование Protocol Buffers частично решает эту проблему, однако добавляет сложность в поддержке схем. Третье ограничение - зависимость от пропускной способности сети при передаче больших блоков данных между узлами; в реальных условиях это может стать узким местом при объемах задачи свыше 1 ГБ на узел.

Разделение функций между языками определяется не предпочтениями, а техническими ограничениями каждого из них. Golang эффективен при высоком параллелизме коротких операций: прием запросов, health-check, маршрутизация, управление очередью. Модель goroutine удерживает тысячи соединений при потреблении памяти 2-8 КБ на goroutine - против 1-8 МБ на поток в JVM или POSIX-thread моделях. Для уровня приема данных, где пиковая нагрузка измеряется десятками тысяч одновременных соединений, это разница между рабочей системой и OutOfMemory-ошибкой.

Python занимает противоположную нишу: задачи с высокой вычислительной интенсивностью при умеренном параллелизме на уровне отдельного узла. NumPy и Pandas компилированы на C и Fortran с поддержкой SIMD-инструкций, что обеспечивает числовые операции на скоростях, недостижимых в чистом интерпретируемом коде. Dask добавляет прозрачное распределение фреймов данных между воркерами одного узла [9]. Для ML-задач Python не имеет практической альтернативы - Scikit-learn, PyTorch и аналогичные фреймворки реализованы только для этого языка и не имеют сопоставимых аналогов в Golang.

Производительность системы определяется не выбором языка программирования как таковым, а архитектурными решениями: конфигурацией очереди сообщений, алгоритмом балансировки нагрузки, форматом сериализации данных и стратегией хранения результатов. Алгоритмически неэффективный код на Golang не обеспечит выигрыша над корректно написанным Python-кодом [8]. Очередь Kafka с некорректными настройками retention и partition count создаст узкое место на уровне брокера независимо от пропускной способности вычислительных узлов. Вопросы целостности данных в распределенных хранилищах требуют отдельного проектного решения, включая механизмы атомарной записи и аудита транзакций [7].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В исследовании разработана и экспериментально проверена архитектура распределенной системы обработки больших данных на основе Golang и Python. Предложенная модель включает семь компонентов с разделением функций: Golang отвечает за прием данных, управление очередью, балансировку нагрузки и координацию кластера, а Python используется для аналитических вычислений, ETL-процессов и ML-инференса. Эксперименты подтвердили преимущество распределенной обработки над последовательной: прирост производительности составил от 73,4 процента при объеме 100 МБ до 84,9 процента при объеме 20 ГБ. При масштабировании кластера от 1 до 8 узлов пропускная способность выросла с 12,4 до 81,2 задач/с, а задержка снизилась с 487 до 74 мс.

Результаты показывают производительность системы зависит не только от выбора языков программирования. Более заметную роль играют архитектурное разделение ответственности, настройка очереди сообщений и логика распределения нагрузки между узлами. Практическая ценность предложенного подхода связана с проектированием промышленных информационных систем: систем мониторинга, аналитических платформ,

ETL-конвейеров и сервисов обработки событий в реальном времени. Дальнейшие исследования могут быть направлены на проверку архитектуры при смешанных CPU- и IO-интенсивных задачах, сравнение алгоритмов балансировки нагрузки и оценку механизмов обеспечения целостности результатов в распределенной среде.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Mussabayev R. How to Use K-means for Big Data Clustering? / R. Mussabayev, N. Mladenovic, B. Jarboui, R. Mussabayev // Pattern Recognition. – 2023. – Vol. 137. – Article 109269. – DOI: 10.1016/j.patcog.2022.109269.
2. Serikbayeva S. Development of Queries Using the Z39.50 Protocol in Distributed Information Systems to Support Scientific and Educational Activities / S. Serikbayeva, J. Tussupov, M. Sambetbayeva, G. Muratova, M. Makhanov, G. Borankulova, A. Yerimbetova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2021. – Vol. 5, No. 2. – P. 66–79. – DOI: 10.15587/1729-4061.2021.239540.
3. Bogdanchikov A. Classification of Scientific Documents in the Kazakh Language Using Deep Neural Networks and a Fusion of Images and Text / A. Bogdanchikov, D. Ayazbayev, I. Varlamis // Big Data and Cognitive Computing. – 2022. – Vol. 6, No. 4. – Article 123. – DOI: 10.3390/bdcc6040123.
4. Berloco F. Distributed Analytics For Big Data: A Survey / F. Berloco, V. Bevilacqua, S. Colucci // Neurocomputing. – 2024. – Vol. 574. – Article 127258. – DOI: 10.1016/j.neucom.2024.127258.
5. Werner S. A reference architecture for serverless big data processing / S. Werner, S. Tai // Future Generation Computer Systems. – 2024. – Vol. 155. – P. 179–192. – DOI: 10.1016/j.future.2024.01.029.
6. Adnan T. M. T. Fast, scalable and geo-distributed PCA for big data analytics / T. M. T. Adnan, M. M. Tanjim, M. A. Adnan // Information Systems. – 2021. – Vol. 98. – Article 101710. – DOI: 10.1016/j.is.2020.101710.
7. Deepa N. A survey on blockchain for big data: Approaches, opportunities, and future directions / N. Deepa, Q.-V. Pham, D. C. Nguyen, S. Bhattacharya, B. Prabadevi, T. R. Gadekallu, P. K. R. Maddikunta, F. Fang, P. N. Pathirana // Future Generation Computer Systems. – 2022. – Vol. 131. – P. 209–226. – DOI: 10.1016/j.future.2022.01.017.
8. Adadi A. A survey on data-efficient algorithms in big data era / A. Adadi // Journal of Big Data. – 2021. – Vol. 8. – Article 24. – DOI: 10.1186/s40537-021-00419-9.
9. Perkins S. J. Africanus I. Scalable, distributed and efficient radio data processing with Dask-MS and Codex Africanus / S. J. Perkins, J. S. Kenyon, L. A. L. Andati, H. L. Bester, O. M. Smirnov, B. V. Hugo // Astronomy and Computing. – 2025. – Vol. 52. – Article 100958. – DOI: 10.1016/j.ascom.2025.100958.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20150958>

## ЧУМЛАҲОИ ПАЙРАВИ ХИЛОФИИ ИЛОВАГӢ ДАР «ЁДДОШТҲО» - И С.АЙНИ

**САБЗАЕВА АДИБА САИДҚУЛОВНА**

Донишгоҳи байналмилалии забонҳои хориҷии Тоҷикистон ба номи Сотим Улуғзода  
Душанбе, Тоҷикистон

---

**Анотатсия:** Дар ин мақола муаллиф истифодаи таҳлили роҳҳои ифодаи муносибатҳои хилофӣ, хусусиятҳои семантикӣ ва услубии ҷумлаҳои пайрави хилофро зимни маводи «Ёддоштҳо» -и С.Айни баррасӣ намудааст.

**Калидвожаъо:** ҷумлаҳои хилофии тасреъӣ, пайрави хилофии истисноии тавзеъӣ, пайрави хилофии туфайлӣ, пайрави хилофии муътариза, ҷумлаи мураккаби тобеъи сертаркиб, ҷумлаи пайрави чидаи хилоф.

---

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРОТИВОРЕЧИВЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ В « ЁДДОШТҲО» С. АЙНИ

**САБЗАЕВА АДИБА САИДҚУЛОВНА**

Таджикский международный университет иностранных языков имени Сотима  
Улуғзода, кандидат филологических наук, старший преподаватель. Республика  
Таджикистан, г.Душанбе

---

**Аннотация:** В данной статье автор рассматривает применение анализа способов выражения противоречивых отношений, семантических и стилистических особенностей предложений с противоречивыми предложениями в материале « Ёддоштҳо » С. Айни.

**Ключевые слова:** пояснительные противоречивые предложения, пояснительные исключаящие противоречивые предложения, причинно-противоречивые предложения, возражательные противоречивые предложения, сложные подчинительно-сложные предложения, сложные противоречивые предложения.

---

## ADDITIONAL CONTRADICTORY SENTENCES IN " YODDOSHTҲО " BY S. AINI

**SABZAEVA ADIBA SAIDQULOVNA**

Tajik International University of Foreign Languages named after Sotim Ulughzoda,  
candidate of philological sciences, senior lecturer. Republic of Tajikistan, Dushanbe

---

**Abstract:** In this article the author considers the application of the analysis of the ways of expressing contradictory relations, semantic and stylistic features of sentences with contradictory sentences in the material " YoddoshtҲо " by S. Aini.

**Key words:** explanatory contradictory sentences, explanatory excluding contradictory sentences, causal contradictory sentences, objectionable contradictory sentences, complex subordinate-complex sentences, complex contradictory sentences.

---

«Ёддоштҳо» ба жанри калонҳачми бадеӣ мансуб буда, дар он ҳаводису воқеоти зиёди мураккабу печ дар печи зиндагӣ тасвир ёфтаанд, ки ин навъи илоҳо махсусан истифодаи қолабҳои гуногуни мураккаби нахвири талаб менамояд. Дар ин маврид гоҳо калимаи иборае, баъзан ҷумлаҳои гуногун-сохт ба тавзеҳу ташреҳи иловагӣ эҳтиёҷманд мегарданд. Бо ин мақсад С.Айни дар «Ёддоштҳо» аз васоити гуногунмаъноӣ иловагӣ пурсамар ва мавқеъшиносона истифода менамояд. Аз ин ҷост, ки истифодаи ҳелҳои гуногуни ҷумлаҳои

иловагӣ дар асар мушоҳида мегардад ва байни онҳо ҷумлаҳои иловагии хилофмаъно мавқеи алоҳида доранд.

Дар «Ёддоштҳо» ҷумлаҳои пайрави хилоф шомили чунин навъҳои ҷумлаҳои иловагӣ мебошанд.

### **Ҷумлаҳои пайрави хилофии истисноии тасреҳӣ**

Ҷумлаҳои хилофии тасреҳӣ маъмулан пас аз калимаи эзоҳталаб меоянд ва гӯянда пас аз калимаи эзоҳталаб гӯё рӯчӯи дигаре карда, хати асосии баёнро қатъ намуда, калимаи эзоҳталабро шарҳ медиҳад, матлабашро нисбат ба калимаи эзоҳталаб равшан месозад ва пас боз хати асосии баёнро идома медиҳад. Таъкид мебояд кард, ки маълумоти нахустин роҷеъ ба ҷумлаҳои тасреҳӣ ва муътариза чун яке аз намудҳои ҷумлаҳои иловагӣ дар забони адабии ҳозираи тоҷик дар «Грамматикаи забони адабии тоҷик», ҷ.3, нашри соли

1989 оварда шуда бошад, пас худи С. Айнӣ ба муносибати тасвири саргузашти Абдурахмони Рафтор ном персонажи «Ёддоштҳо» ҳанӯз дар соли 1953 шарҳу тавзеҳи ҷумлаҳои муътаризаро овардааст. Ҷунончи: Касе ба ин саволи ӯ ҷавоб надод ва ӯ боз давом намуд:- Ҳамаатон медонед, ки Ҷунбули мурдор, Мухторхоҷаи мор, Қорӣ самеи нобакор, Абдурахмони Рафтор (**ман ба ин марди фоҳишамонанд дигар сифат намедиҳам, худи ҳамин калимаи «рафтор», ки аз тарафи мардум ба номи ӯ ҳамроҳ карда шудааст, нишон медиҳад, ки ӯ хурдсолиашро бо кадом машғулият гузаронидааст**), - гуфт Мулло Амон дар байни сухани асосии худ **ба тарзи ҷумлаи муътариза** – скобкагӣ ва давом намуд: - ва Қиёммаҳдуми ҳарҷоғарди бадкирдор – ин панҷ нафар ғаддори мурдоркор барои халос шудан аз ним танга пули киро бешармона ҳамон қадар мочароро барпо кардаанд (VII,401-402).

Ҷумлаи хилофии тасреҳӣ аз матни асосӣ аз ду тараф бо вергул (агар тас-реҳӣ дар мобайни ҷумла омада бошад) ҷудо карда мешавад ё дар дохили қавсайн оварда мешавад.

Мисолҳо: Ба сабаби монёъ омадани қозикалон, **харчанд ӯро аз мадраса пеш карда натавониста бошанд ҳам**, аз таҳқир кардани ӯ, аз гап парронданба ӯ боз намеистанд(VI,256); Орзу мекардем, ки коре шуда ҳамаи ин ғаму кулфатҳо, **харчанд якчанд дақиқа ҳам бошад**, аз ёдам барояд ва ман ҳам рӯйи осоишро бинам(VI,178); Ман, ки табиатан кунҷков ва шаккок буда, ин гуна корҳои аз одат берунро то ба чашми худ набинам, бовар намекардам, рӯзе дар қатори риштадорон (**бо вучуди ин ки он вақт ришта надоштам**) ба сарои Сайфиддин, ба пеши дӯкони нахустин рафтам (VII,541); Ӯ қади баланд, бадани лоғар, чеҳраи гандумгун, риши миёнаи на он қадар сафед (**бо вучуди он ки худ 90-сола буд**) ва абрӯҳои баланди дарозмӯ дошт (VI,64);-Кадам зани ҷавон (**харчанд вай ҳарҷой ва сабукной бошад ҳам**) тани гарми худро дар оғӯши сарди шумо меандозад(VI,400).

### **Ҷумлаҳои пайрави хилофии истисноии тавзеҳӣ**

Чунин ҷумлаҳо дар «Ёддоштҳо» нисбат ба ҷумлаҳои пайрави хилофии истисноии тасреҳӣ ва муътариза камистеъмоланд.

Онҳо ба тафсири як калима, ибора ё мазмуни умумии ҷумлаи (матни) асосӣ омада[25:191], аз ҷумлаи (матни) асосӣ ё бо нимтире ҷудо карда мешаванд ё дар дохили қавсайн гирифта мешаванд. Дар мисоли зерин ҷумлаи пайрави хилофии тавзеҳӣ калимаи дар ҷумла (матни) асосӣ омадаи «Пирак»-ро шарҳ медиҳад: Додари ин одам Пирак ном дошт (**Номаш дар асл «Пир» бошад ҳам**, ба сабаби нисбат ба бародараш хурдҷусса буданаш ӯро «Пирак» мегуфтанд) (VII,226).

### **3. Ҷумлаи пайрави хилофии туфайлӣ**

Дар «Ёддоштҳо» ҷумлаи пайрави хилофии туфайлие истифода шудааст, ки муносибати гӯяндаро нисбат ба мазмуну мундариҷаи ҷумлаи асосӣ ба таври эҳтимолу таваккал вобаста медонад: **Ҳар чӣ бошад ҳам**, - гуфт Шарифҷонмаҳдум, - инро хонондан даркор аст(VI,194); **Ҳар чӣ бошад ҳам**, ба Ҳайрат фаҳмондам, ки шеъри ӯро ба Шарифҷон - маҳдум нишон додам(VII,222).

### **Ҷумлаи пайрави хилофии муътариза**

«Чумлаҳои муътариза маълумоти иловагӣ ва шарҳу тавзеҳотеро ифода менамоянд, ки ба мазмуни умумии чумлаи асосӣ ва ё ба ягон аъзои он тааллуқ дорад»[25:197].

Чумлаҳои пайрави хилофии тасреҳӣ аксаран пайвандак доранд ва бо вучуди чун ручӯе сурат ёфтани он чумлаҳо пайвандакҳо ҳамбастагии маъноию грамматикӣ чумлаи тасреҳиро ба матн асосӣ як андоза нигоҳ медоранд, вале дар чумлаҳои муътариза ин хел нест. Чумлаҳои муътариза маълумоти иловағиест роҷеъ ба ягон шахс ё ашё, ҳодисаю воқеаи алоҳида ва бештар умуман оид ба матн. Чанд мисол: Нависандаи ин сатрҳо, **ман аз соли чоруми истиқоматам дар Бухоро ба ин дарди «бедаво» гирифта шуда бошам ҳам**, ёд кардани вайро то ин қисми «Ёддоштҳо» мавқуф гузоштам, чунки, тамоман ҳалос шуданам аз ин бало то солҳои 1901 давом намуда буд (VII,528); Ба ин сабаб бо арзи ҳақоратталабии аълам аз Ҳоҷӣ Маҳдум, **ҳарчанд бо хабари додани ҷосусони худ ҷойи пинҳоншудаи ўро донд ҳам**, ба аълам «ханӯз дар кучо будани гунаҳгор маълум нест, мо кофтукови чиддӣ карда истодаем, албатта, ба даст хоҳад афтод...»- гӯён бо ваъдаҳои гарму ҷӯшон оташи ғзаби ўро паст кардан мехост (VII,4479).

Чумлаҳои муътариза аз ҷиҳати сохт ва таркиб сода, мураккаб ва сертаркиб мешаванд(2.3,198), вале дар «Ёддоштҳо» асосан дар шакли чумлаи мураккаби тобеи пайвандакдор, ки чумлаи пайрави хилоф доранд, воқеъ гардидаанд, аниқтараш чумлаи мураккаби тобеъ бо чумлаи пайрави хилоф яклухт ба вазифаи чумлаи муътариза омадааст: Баъд аз ин воқеа ман дар оила яккаписар ва дастёри ягона шуда мондам (**Ҳарчанд Сирочиддин ном як додарам бошад ҳам, ханӯз вай хурд ва назар ба қавли падарам, ҳоло вай дар қатори фарзандон надаромада буд.**) (VI,61); Ҷӣ гуна ба мардум таъсир кардани ин гуна ҷазодиҳии раисро як воқеа, ки баъд аз Револютсияи Бухоро рӯй дода буд, ба хубӣ нишон медиҳад (**Ҳарчанд аз ҷиҳати таърих ҷойи нақл кардани он воқеа ин ҷо набошад ҳам**, бинобар алоқаманд буданаш ба кордории рамазонии раис ва одамони ў дар ҳамин ҷо ёд кардани он воқеа муносиб дида шуд.) (VII,486).

Кам бошад ҳам, дар «Ёддоштҳо» чумлаи муътаризае, ки алоҳида дар шакли чумлаи пайрави хилоф омадааст, дучор мегардад: Вақте ки дар кӯчаҳо мегашт, ба касе нигоҳ намекард ва бо касе (**ҳарчанд шиноси дерин ҳам бошад**) салом алек наменамуд(VII,257).

Назар ба мушоҳидаҳои мо, дар «Ёддоштҳо» доираи истифодаи чумлаҳои хилофии тасреҳӣ назар ба чумлаҳои хилофии муътариза васеътар аст.

**Истифодаи чумлаҳои пайрави хилоф дар таркиби чумлаҳои мураккаби сертаркиб ва омехта**

Дар «Ёддоштҳо» чумлаҳои пайрави хилоф ғайр аз дар таркиби чумлаҳои мураккаби тобеи муқаррарӣ омаданашон (яъне дар таркиби чумлаи мураккабе, ки фақат аз сарчумлаю як чумлаи пайрав иборатанд), инчунин чун ҷузъи чумлаи мураккаби сертаркиб ва омехта ҳам истифода шудаанд.

Чумлаи пайрави хилоф дар «Ёддоштҳо» дар таркиби чумлаи мураккаби сертаркиб дар чунин вазъиятҳо истифода шудааст:

- 1.Ҳамчун ҷузъи чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб.
- 2.Ҳамчун ҷузъи чумлаҳои мураккаби омехта.

3.Ҳамчун ҷузъи чумлаҳои мураккабе, ки дар таркибашон ҳам чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб доранд, ҳам чумлаи мураккаби омехта.

Дар забоншиносии тоҷик умуман сохтори чумлаҳои мураккаби сертаркиб ва чумлаҳои омехта таҳқиқ ва муайян шудаанд. Аз чумла, дар ин бора дар грамматикаи илмӣ забони ҳозираи тоҷик [25:150-180,180-187] ва китобҳои дарсии наҳв барои мактабҳои олӣ [35:277-321] маълумоти дақиқ дарҷ ёфтааст.Инчунин дар бораи ин қисмати наҳви забони тоҷикӣ рисолаи махсусе [126] таълиф гардидааст. Дар баъзе таҳқиқотҳои роҷеъ ба наҳв анҷомдодаи забоншиносон ҳам дар бораи ин хели чумлаҳои мураккаб маълумот фароҳам омадаанд [ 98:143-160,169,169,138:176-212 ва ғ]. Роҷеъ ба чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб дар «Ёддоштҳо» -и С. Айнӣ забоншинос М. Набиев қори илмӣ махсусе ба анҷом расондааст [91,92]. Дар рисолаи номзадии М. Набиев пайваста бо ҳалли мавзуи асосӣ роҷеъ ба мавқеи

чумлаҳои пайрави хилоф дар таркиби чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб каме маълумот дода шудааст, ки он фарогири ҳамаи хусусиятҳои маъноӣ, сохтор ва таркибу дигар хусусиятҳои нахвӣи чумлаҳои пайрави хилоф дар таркиби чумлаҳои мураккаби сертаркиб ва чумлаҳои омехта буда наметавонад. Бо вучуди ин маълумоти роҷеъ ба ин масъала дарҷнамудаи

М. Набиев чиҳати ба таври махсус ва васеъ омӯхтани мавқеи чумлаи пайрави хилоф дар таркиби чумлаҳои мураккаби сертаркиб ва омехта кӯмаке хоҳад расонд.

**Чумлаи пайрави хилоф ҳамчун чузъи чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб.**

Дар бораи чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб, чунонки, дар боло иброз гардид, дар як қатор сарчашмаҳо маълумот дода шудааст, лекин аз ҳама бештар муфассалтар дар рисолаҳои олимони Д.Тоҷиев «Чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб» [126], Чумлаҳои мураккаби тобеъ дар забони адабии ҳозираи тоҷик [130], дар рисолаи Б. Ниёзмӯҳаммадов ва Ш. Рустамов «Баъзе масъалаҳои синтаксиси забони адабии ҳозираи тоҷик» [99:143-160], дар «Грамматикаи забони адабии ҳозираи тоҷик» [25:156-180], дар китоби дарсӣ барои мактабҳои олӣ «Забони адабии ҳозираи тоҷик» [35:277-321] дар бораи ин воҳидҳои нахвӣ маълумоти бештаре дарёфтани мумкин аст. Қабл аз баррасии истифодаи чумлаҳои пайрави хилоф дар таркиби чумлаҳои мураккаби сертаркиб ва чумлаҳои омехта таваҷҷуҳи шуморо ба қорбурди як идда истилоҳоти ифодакунандаи қисматҳои таркибии ин хели чумлаҳо ҷалб карданӣ. Олимони Б. Ниёзмӯҳаммадов ва Ш. Рустамов дар асари илмиашон, ки соли 1968 ба таъби расидааст [99], чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркибро ба се навъ ҷудо ва чунин унвонгузорӣ кардаанд: **1) чумлаҳои пайрави чида** [99:143-152], **2) чумлаи пайрави ҳархела** [99:156-160]. Д. Тоҷиев чумлаҳои тобеи мураккаби сертаркибро аввал ба ду хел: **ҳампайрав** ва **паёпай** ҷудо карда ба чунин қисматҳо тасниф ва онҳоро бо чунин истилоҳот ифода намудааст:

**а) чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиби ҳампайрави чида** [130:179-187], ки дар забоншиносии тоҷик онҳоро асосан бо истилоҳи «**чумлаҳои пайрави чида**» ном мебаранд;

**б) чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиби ҳампайрави ғайричида** [130:179-187]. Дар ин навъи чумлаҳо асосан чумлаҳои чида оварда шудаанд, ки чун анъана онҳоро **чумлаҳои пайрави ҳархела** меноманд, ки ин истилоҳ ғайр аз чумлаҳои мураккаб бо чумлаҳои пайрави муайянкунанда ба ҳамаи чумлаҳои мураккаб бо пайравҳои дигар дуруст меояд;

**в) навъи дуҷуми чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркибро пайрави паёпай** меноманд [130:197-212], ки чунин чумлаҳоро дар забоншиносии тоҷик бештар бо истилоҳи «**чумлаи пайрави дарача**» ифода менамоянд. Худи Д.Тоҷиев дар таҳлили чунин чумлаҳо вожаҳои таркибҳои «дарача», «дарачагӣ», «аз рӯи дарача»-ро ҳам истифода намудааст.

Дар «Грамматикаи забони адабии ҳозираи тоҷик» мундариҷаи боби «Чумлаҳои мураккаби сертаркиб», ки маҳсули қалами Ш. Рустамов аст, ба маълумоти асари дигар – «Баъзе масъалаҳои синтаксиси забони адабии ҳозираи тоҷик» [99] (муаллифон Б. Ниёзмӯҳаммадов ва Ш. Рустамов) монанд аст. Фақат дар таснифоти чунин чумлаҳо истилоҳи «**чумлаи пайрави якхела**» истифода нашуда, ба ҷойи он истилоҳи «**чумлаи мураккаби тобеъ бо чумлаҳои пайрави ғайричида**» оварда шудааст [25:160] ва дар навбати худ маводи ин қисматро ба ду гурӯҳ тасниф намудааст: **чумлаи пайрави ғайричидаи якхела** ва **чумлаи пайрави ғайричидаи ҳархела** (25:160). Чумлаи пайрави ғайричидаи якхелаи пешниҳоднамудаи Ш.Рустамов ба таснифи Д.Тоҷиев бо номи «**чумлаи ҳампайрави ғайричидаи якхела**» баробар аст [130:187, мисолаш дар с.189 ва 25:161].

Мурод аз баррасии ин дебоча ва таҳлилу муқоисаю муқобалаи ин вожаҳою истилоҳот он аст, ки мо дар тасвири чумлаҳои мураккаби сертаркиби «Ёддоштҳо» истилоҳоти ягонро истифода карда, мабодо бо махлутшавии ифодаву истилоҳ роҳ надихем ва хонандаро ба иштибоҳу саргумӣ наандозем. Таъкиди қаблии дигар он аст, ки мо чунин чумлаҳоро зимни маводи «Ёддоштҳо» дар маърази таҳлил қарор медиҳем, шояд дар ин асар оид ба ҳамаи ин қолабҳои чумлаи мураккаби сертаркиб мисол дарёфтани имконпазир набошад, бинобар ин

таснифу таҳлилу тасвири чумлаҳои мураккаби сертаркибу омехта, хелҳо ва соири хусусиятҳои маъноию грамматикии онҳо вобаста ба маводи дастрасу фароҳамовардаи мо амалӣ мегардад. Дар ифодаи чумлаҳои пайрави таркиби чумлаҳои мураккаби сертаркиби «Ёддоштҳо» мо истифодаи истилоҳоти «**чумлаҳои пайрави чида**», «**чумлаҳои пайрави ғайричида(хархела)**», «**чумлаҳои пайрави дарача**»-ро ҷоиз шуморидем.

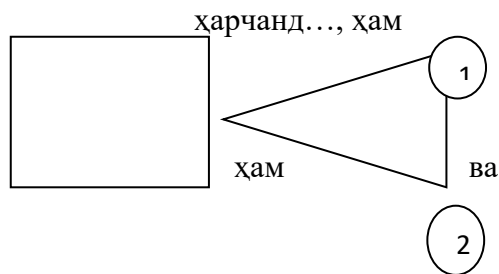
**Чумлаҳои пайрави чидаи хилоф**

Дар «Ёддоштҳо»-и С.Айнӣ ду ва ё зиёда чумлаҳои пайрави хилоф чида шуда, чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркибро ташкил медиҳанд. Чунончи: **Бинобар ин, харчанд ӯ ин мадрасаро барои талабагон вақф карда бошад ҳам (чумлаи пайрави 1) ва аз рӯи шарият ин бино аз тасарруфи ӯ тамоман баромада бошад ҳам (чумлаи пайрави 2), моликияти худро аз ин ҷо барҳам додан намехост (VII,273).**

Дар ин чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб чумлаҳои пайрави хилоф пеш аз сарчумла омада, бо ҳамдигар ба тавассути пайвандаки «**ва**» пайваст ва бо сарчумла бо пайвандаи «**харчанд..., ҳам**» тобеъ шудаанд. Чумлаи пайрави хилофи якум ба сарчумла бо тавассути пайвандаки чуфтистеъмоли «**хар-чанд..., ҳам**» алоқа кардааст, чумлаи пайрави хилофи дуюм бошад, зоҳиран бо пайвандаки «**ҳам**» ба сарчумла тобеъ шудааст, лекин маънои пайвандаки «**харчанд**» ба чумлаи пайрави хилофи дуюм низ дахл дорад, сарфи назар аз фуруғузур гардидани ин пайвандак дар чумлаи сонӣ.

Таркиби ин чумларо чунин тасвир намудан мумкин аст.

Нақшаи 1.



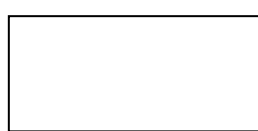
Чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои чидаи хилоф дар «Ёддоштҳо» камистеъмоланд.

**Чумлаҳои пайрави хилоф чун ҷузъи чумлаи мураккаби тобеи сер-таркиб бо пайравҳои ғайричида**

Чумлаҳои пайрави хилоф чун ҷузъи чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб бо пайрави ғайричида низ мушоҳида гардиданд. Чумлаҳои пайрави хилоф дар таркиби чунин чумлаҳо вобаста ба истифодаи васоити алоқа, чиро шарҳу эзоҳ додани он, бо дигар чумлаҳои пайрав дар таркиби як чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои ғайричида омадани он баъзе хусусиятҳо зоҳир менамоянд.

Бояд гуфт, ки бино бар маводи мавриди таҳлил қарордодаи мо чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои ғайричида, ки яке аз чумлаҳои пайрави он чумлаи пайрави хилоф аст, аз се чумлаи сода иборатанд (сарчумла, чумлаи пайрави хилоф, боз ягон чумлаи пайрави дигар): Ин хабар расман аз тарафи қозикалон эълон нашуда бошад ҳам, **онро касе овоза карда мегашт, ки** ўро ба сабаби пешакӣ хабар доданаи ҳукуматро «Ҷабраил» ме-гуфтанд (VII,382-383).

Нақшаи чумла:

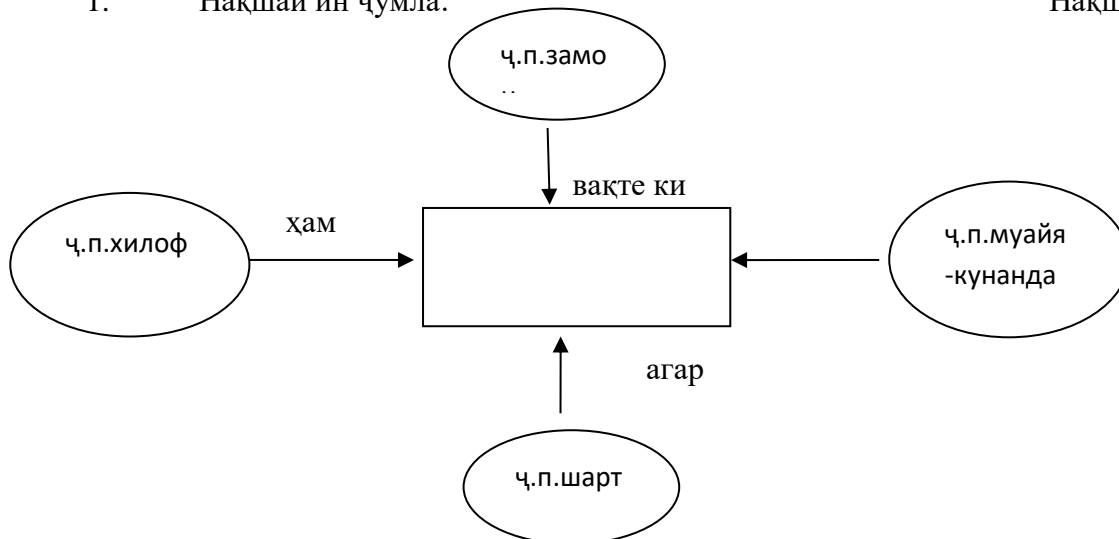


Нақшаи 2.

Аз се чумлаи сода зиёд будани таркиби чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои гуногун, ки яке аз онҳо чумлаҳои пайрави хилоф аст, ба нудрат во меҳӯрад: Аммо, **харчанд домуллоҳо барои такрор ҷоҳои болаш кушодаро афзал донанд ҳам**, дар шабҳои сармо ҳар талаба кӯшиш мекард, ки дар миёнаҳои мадраса, ки болопӯшида буд, ҷой гирад (VII, 219); Талаба, вақте ки мактаби ибтидоиро тамома кард, **хоҳ савод бароварда бошад, хоҳ кӯрсавод ӯ ин ки тамоман бесавод бошад ҳам**, агар ҳаваси «мулло шудан» ӯ номи муллоиро бардоштан дошта бошад, аввал ба пеши ягон муллои оддӣ «Бидон» меҳонд, ки дар ин китоб сарфу наҳви араб бо мисолҳои арабӣ дар забони тоҷикӣ баён меёфт (VII, 204).

1. Нақшаи ин чумла:

Нақшаи 3.



88

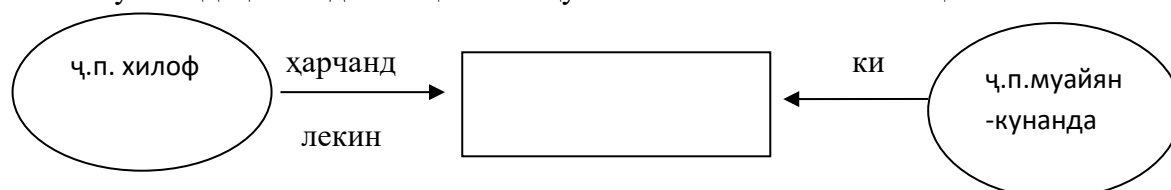
Дар ин чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои ғайриҷида чумлаҳои пайрави замон, шарт ва хилоф ба хабари сарҷумла тобеъ буда, онро шарҳ диҳанд, чумлаи пайрави муайянкунанда ба пуркунандаи сарҷумла – «Бидон» тобеъ буда, онро шарҳу эзоҳ медиҳад.

Мушоҳидаҳо нишон доданд, ки чумлаи пайрави хилофе, ки дар таркиби чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои ғайриҷида истифода шудаанд, чун чумлаҳои дар боло таҳлилшуда ба сарҷумла бештар бо пайвандаҳои «**харчанд**», «**ҳам**» ва ҷуфти «**харчанд... ҳам**» тобеъ шудаанд.

Дар чунин чумлаҳои мураккаб чумлаи пайрави хилоф бо пайвандаки ҷуфтистеъмоли «**харчанд... лекин**» ҳам алоқа кардааст: **Харчанд** ҳанӯз ҳам тамоми баданаш месӯхт, **лекин** бо таъсири оби сард, ки шояд аз ҷоҳи кашидани оварда бошад, хеле қувват ба баданаш бозгашт (VII, 213).

Мутаваҷҷеҳ бошед ба нақшаи ин чумла:

Нақшаи 4.



Маълум аст, ки чумлаи пайрави хилоф ба иҷрои амали сарҷумла ӯ мамоният мекунад ӯ хилофи фикри он аст, вале агар дар сарҷумлаи чумлаи мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои ғайриҷида хабарҳо ҷида шуда оянд, як чумлааш метавонад ба як хабари яқин тобеъ бошад, чумлаи пайрави дигар ба хабари дуюм. Чунинчун, дар чумлаи зерин, ки сарҷумла «**Хурсанд шуда меҳӯрад**» аст, чумлаи пайрави шarti «**Бечораро агар як чиз диҳанд**» ба ҳиссаи «**Хурсанд шуда меҳӯрад**» тобеъ бошад чумлаи пайрави хилофи «**Харчанд гушна бошад**» ба хабари ҷидаи дигар, ки «**талаб намекунад**» аст, алоқаманд буда, фақат ба иҷрои

ин амал хилоф аст, на ба феъли «**мехӯрад**». Саволҳо ба чумлаҳои пайрав ҳам аз ҳамин феълҳо бармеоянд: ... Бечораро агар як чиз диҳанд, **хурсанд шуда мехӯрад**» ва агар надиханд, **ҳарчанд гушна бошад ҳам, талаб намекунад** (VI,23-24).

Дар чумлаи зерин бошад, чумлаи пайрави хилоф хилофи яке аз хабарҳои чидаи сарчумла- «аз **ёд набаровардааст**» буда, чумлаи пайрави пуркунанда ба хабари «**мехоҳад**» тобеъ аст: **Аз миён қариб як сол гузашта бошад ҳам, ҳар ҳанӯз он воқеаро аз ёд набаровардааст** ва **мехоҳад**, ки боз дар ҳамон ҷо вайро дам диҳам (VI,151).

Аз маводи фароҳамомада ба хулосае омадан мумкин аст, ки дар «Ёддоштҳо» чумлаҳои пайрави хилоф дар таркиби чумлаҳои мураккаби сертаркиби бо пайравҳои ғайричида ташкилёфта бо чумлаҳои пайрави муйянкунда бештар ҳамроҳ меоянд. Агар мазмуни чумлаи пайрави хилоф бо мундариҷаи тамоми чумлаи мураккаби тобеъ (якҷоя бо пайрави дигар) алоқамандӣ дошта бошад, инчунин бо чумлаҳои пайрави пуркунанда, сабаб, миқдору дараҷа, замон шарт ва монандӣ ҳам ба таври чуфт омада метавонанд.

Дар таркиби чумлаҳои мураккаби тобеи сертаркиб бо пайравҳои ғайричида ҷойи чумлаи пайрави хилоф устувор нест. Агар мазмуни хилоф барои нависанда асосӣ бошад, таъкид ёбад, чумлаи пайрави хилоф дар аввали чумлаи мураккаб пеш аз сарчумла меояд: **Ҳарчанд ин фикр хеле фикри хуб бошад ҳам**, дар шароити онвақтаи Бухоро ин фикрро ба амал овардан мумкин набуд, чунки дар мамлакат ҳанӯз ҷангҳои граждани давом мекард (VII,290).

#### РҶҲАТИ АДАДИЁТ:

1. Айнӣ, С.Оид ба вазъияти забоншиносии тоҷик//ШарқиСурх, 1952, № 6С.3 -8.
2. Ализода, С.Р. Сарфу наҳви забони тоҷикӣ. /Саидризо Ализода.-Сталинобод-Самарқанд, 1926.-48с.Нашри нав бо ҳуруфоти кириллӣ.-Душанбе.2006.-70с.
3. Айнӣ, С. Ёддоштҳо,қ.І,ІІ // С. Айнӣ. Куллийёт,ҷ.6.-Душанбе:Нашриёти давлатии Тоҷикистон.-1962.-415с.
4. Айнӣ, С. Ёддоштҳо,қ.ІІІ,ІV//С. Айнӣ. Куллийёт,ҷ.7.-Душанбе:Нашриёти давлатии Тоҷикистон.-1962.-618с.
5. Исмагуллоев, М.Оид ба чумлаи пайрави истисноӣ// Маҷмуаи илмӣ [Материалҳо оид ба забони адабии тоҷик],серияи филологӣ,ҷ.55.-Институти педагогии ба номи Т.Г.Шевченко.-Душанбе,1963.
6. Исмагуллоев, М.Бо ёрии ду воситаи грамматикӣ ифода шудани баъзе хелҳои ҳолшарҳкунандаҳо дар забони адабии тоҷик // Мактаби Советӣ- 1966,№8 ва №9.
7. Грамматикаи забони тоҷикӣ.Синтаксис.Китоби дарсӣ барои мактабҳои олий.-Душанбе, 1963.-184с.
8. Грамматикаи забони адабии ҳозираи тоҷик,ҷ.1.Фонетика ва морфология.- Душанбе:Дониш,1985.-356с.
9. Грамматикаи забони адабии ҳозираи тоҷик,ҷ.2.Ибора ва синтаксиси чумлаҳои сода.- Душанбе:Дониш,1986.-372с.
10. Грамматикаи забони адабии ҳозираи тоҷик,ҷ.3.Чумлаҳои мураккаб.- Душанбе:Дониш,1989.-222с

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20151029>  
УДК 66.074.1

## ФАКТОРЫ И МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СЕРОВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ В ПРОДУКЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**БОЗЖАН ӘДІЛБЕК ЕРЖАНҰЛЫ**

Магистрант Западно-Казахстанского аграрно-технического университета  
им Жангир хана, Уральск, Казахстан

**ҚАЛАМҒАЛИ АҚТІЛЕК**

Магистрант Западно-Казахстанского аграрно-технического университета  
им Жангир хана, Уральск, Казахстан

**ХАМЗИНА БАЯН ЕЛЕМЕСОВНА**

т.о.доцента, PhD доктор Западно-Казахстанского аграрно-технического университета  
им Жангир хана, Уральск, Казахстан

---

***Аннотация.** В статье говорится о факторах и методах очистки от сероводородосодержащих газов в продукции месторождении углеводородов, рассматриваются гравитационное отстаивание, термохимические отстойники, электродегидраторы, а также применение современной мембранной технологии.*

***Ключевые слова:** сероводород, нефть, гравитационное отстаивание, отстойник, электродегидратор, мембранная технология.*

---

Добыча и переработка сероводородосодержащих газов (сернистых и высокосернистых газов) — это сложный технологический процесс, связанный с высокими рисками для оборудования и персонала. Основные месторождения с высоким содержанием: Тенгиз, Кашаган, Карачаганак.

В современном производстве для очистки углеводородных газов наиболее широко применяемой является технология абсорбционной этаноламиновой очистки. При оценке экономической эффективности применения других технологий сравнивают с технологией абсорбции этаноламинами.

В качестве параметров, влияющий на выбор технологии, можно выделить:

- наличие паров воды и сероводорода в составе сырьевого углеводородного газа;
- летучесть абсорбента;
- прочность адсорбента;
- селективность, сложность регенерации;
- стоимость и срок службы.

На поздних стадиях разработки нефтяных месторождений, из-за закачки воды для поддержания пластового давления, происходит микробиологическое заражение пластов, что приводит к появлению сероводорода даже там, где его изначально не было.

В условиях истощения углеводородных запасов в последние годы интерес для нефтегазовой отрасли стала представлять разработка месторождений с большой концентрацией в сырье не углеводородных примесей – сероводорода и сопутствующего ему углекислого газа. На данный момент в мире открыты лишь несколько сотен месторождений с высоким содержанием  $H_2S$  и  $CO_2$ , из них большая часть сосредоточена в сульфатно-карбонатных породах соленосных бассейнов палеозойского и мезозойского возраста. Эксплуатация месторождений часто затруднена глубоким залеганием продуктивных пластов, сложными термобарическими условиями (таблица) [1].

Таблица 1 – Примеры сероводородосодержащих месторождений мира

ГК – газоконденсатная; НГК – нефтегазоконденсатная; НГ – нефтегазовая; Г-газовая

Месторождение	Тип залежи	Запасы	Продуктивный пласт	Глубина, м	Давление, МПа/температура, °С	Содержание неуглеродной примеси, %	
						H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>
Астраханское	ГК	2,5 трлн м <sup>3</sup> газа и 400 млн т газового конденсата	C <sub>2</sub> (карбонаты)	3880... 4100	61-63/ 102-128	≤ 26	≤ 16
Оренбургское	НГК	2000 млрд м <sup>3</sup> газа, 600 млн т нефти и конденсата	P <sub>1</sub> - C <sub>2</sub> (карбонаты)	1700- 1875	18-21/27	≤ 4,93	≤ 5,4
Тенгиз	НГ	3,133 млрд т нефти и 1,8 трлн м	C <sub>2</sub> (карбонаты)	3800- 5400	80-86 / 90-120	16,2	2,6
Карачаганак	НГК	1,35 трлн м <sup>3</sup> газа и 1,2 млрд т нефти и газового конденсата	D <sub>3</sub> - P <sub>1</sub> (карбонаты)	3700 – 5360	52-59/ 70-95	≤ 7	≤ 7
Hangiren (Иран)	Г	0,4 трлн м <sup>3</sup> газа	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> (карбонаты)	3100	Нет данных	1,5	6,0
Waterton (Канада)	Г	≈ 110 млрд м <sup>3</sup> газа	P <sub>1</sub> - C <sub>2</sub> (карбонаты)	3700	Нет данных	19,24	4,66
Puguang (Китай)	Г	> 200 млрд м <sup>3</sup> газа	P <sub>2</sub> – T <sub>1</sub> (карбонаты)	5500- 6100	Нет данных	13,6- 14,5	8,2- 11,8
Lacq (Франция)	НГК	250 млрд м <sup>3</sup> газового конденсата,	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub> (карбонаты)	3500- 5270	68/130	≤ 17	≤ 19

В большинстве случаев концентрация кислых газов варьирует от долей до 1...2 %, что делает возможной эффективную разработку месторождений с учетом Сероводородсодержащая нефть представляет собой многокомпонентную систему, включающую углеводороды, пластовую воду, растворённые газы и механические примеси. Сероводород (H<sub>2</sub>S) является токсичным и агрессивным компонентом, который при наличии воды образует кислые среды, ускоряющие разрушение оборудования [2].

К основным проблемам можно отнести следующие факторы

1. Коррозия оборудования. В присутствии воды и H<sub>2</sub>S образуются слабые кислоты, вызывающие сульфидную коррозию.
2. Образование устойчивых эмульсий. Сероводород стабилизирует водонефтяные эмульсии, затрудняя разделение фаз.
3. Снижение качества нефти. Повышенное содержание воды увеличивает транспортные и перерабатывающие затраты.

Различают несколько основных механизмов сероводородной коррозии:

- образование растворов сероводородной кислоты, приводящих к растворению защитных оксидных плёнок и развитию язвенной коррозии;
- диффузия водорода в металл с образованием внутренних дефектов (пузырей и пустот);
- коррозионное растрескивание металла под действием напряжений[3].

Указанные факторы обуславливают необходимость реализации комплекса мер по удалению кислых газов, а также защиты оборудования и окружающей среды, что, в свою очередь, приводит к усложнению технологических схем и увеличению капитальных и эксплуатационных затрат.

Основная часть кислых газов удаляется на стадии сепарации нефти. Выделившийся газ направляется на последующую очистку от сероводорода. После процессов дегазации остаточное содержание сероводорода в нефти, как правило, не оказывает существенного влияния на эффективность процессов обезвоживания и обессоливания.

К основным методам очистки нефти от сероводородосодержащей воды относятся следующие:

- гравитационное отстаивание, основанное на разности плотностей нефти и воды, из оборудования в основном применяют отстойники и сепараторы. Их используют для более эффективного и грубого разделения, но имеется недостаток — плохо работают при глубоких и стойких эмульсиях.

- процесс обезвоживания нефти обычно осуществляется в термохимических отстойниках, тогда как обессоливание проводится в электродегидраторах.

Между ступенями сепарации в поток нефти вводится промывочная вода в количестве 10–20 % от объёма нефти. Для повышения эффективности обессоливания используется рециркуляция дренажной воды: вода, отводимая из электродегидратора, подаётся на вход сырьевого насоса, а дренаж из отстойников обезвоживания возвращается на стадию предварительного обезвоживания. Такой подход способствует повышению температуры процесса и более полному использованию остаточного деэмульгатора.

Как правило, применяются двухступенчатые схемы обезвоживания и обессоливания, обеспечивающие получение товарной нефти с содержанием хлористых солей в диапазоне 20–40 мг/дм<sup>3</sup>.

Окончательная очистка нефти от сероводорода осуществляется с использованием физико-химических или химических методов. К физико-химическим методам относятся:

- одноступенчатая сепарация при пониженном давлении и повышенной температуре (так называемая «горячая» сепарация);
- продувка нефти газом, не содержащим сероводород;
- десорбция кислых газов или стабилизация нефти.

Данные методы могут применяться как по отдельности, так и в комбинированных схемах. Они характеризуются относительной экономичностью и эффективны при содержании сероводорода до 500 мг/дм<sup>3</sup>, особенно в условиях крупнотоннажного производства.

При низких концентрациях сероводорода (менее 200 мг/дм<sup>3</sup>) целесообразно использование химических методов, основанных на его связывании или нейтрализации. В качестве реагентов применяются щёлочи, аммиак, оксиды металлов (например, железа и марганца), а также соли железа. В ряде случаев удаление сероводорода достигается за счёт взаимодействия с железосодержащими компонентами водонефтяных эмульсий с образованием сульфида железа.

Несмотря на высокую эффективность, химические методы характеризуются значительным расходом реагентов и, как следствие, повышенными затратами, поэтому чаще используются на стадии доочистки нефти. В частности, для удаления остаточных количеств сероводорода и меркаптанов применяются процессы каталитического окисления кислородом воздуха или реакции алкилирования.

Технологические схемы подготовки сероводородосодержащих нефтей, применяемые в России и Республике Казахстан, характеризуются полной герметизацией оборудования и процессов. В целом они основаны на традиционных принципах подготовки нефти, однако предусматривают обязательный сбор и направление всех выделяющихся газов на установки осушки и последующей сероочистки.

Типовая установка включает:

- отстойники предварительного сброса пластовой воды;
- сырьевые насосы;
- печи с горячими сепараторами;

- отстойники обезвоживания;
- электродегидраторы обессоливания.

Дренажная вода после отстаивания направляется в дегазаторы, а затем через буферные ёмкости используется в системе поддержания пластового давления.

В настоящее время наиболее широко известны два механизма обессоливания нефтей, основывающиеся на том, что весь солевой потенциал сосредоточен в каплях пластовой соленой воды.

Согласно теории вытеснения [3] выравнивание концентраций солей в каплях воды не является обязательным и даже при равновероятном удалении из смеси капель воды всех соленостей. При таком допущении решающее значение отводится числу ступеней обессоливания. По механизму идеального смешения глубина обессоливания может быть рассчитана из содержания остаточной воды в нефти, а соленость самих капель в идеале одинакова.

Первая модель осуществима при условии равенства факторов осаждения пластовой воды - носителя солей и капель вводимой промывочной воды. Второй механизм требует длительного перемешивания системы, необходимого для коалесценции капель воды разной солености до полного (или заданного) выравнивания концентраций. Это связано с замедлением скорости капельного массообмена в ходе процесса перемешивания по уравнению

$$t_m = 0,98(\rho / A)^{0,5} \lambda_o \bar{v}(0)^{0,5} / m_1 \quad (1)$$

где  $t_m$  - время укрупнения капель дисперсной системы;

$\rho$  - плотность внешней фазы;

$\lambda_o$  - внутренний масштаб турбулентности;

$v$  - начальный объем капель внутренней фазы дисперсной системы;

$m$  - концентрация дисперсной фазы;

$A$  - константа молекулярного взаимодействия.

Согласно расчетам автора при укрупнении капель на порядок скорость этого процесса уменьшается в 30 раз. Практически в процессе обессоливания присутствуют элементы обоих механизмов, в частности, первого – при электродеэмульсации в дегидраторе и второго при движении нефти с введенной промывочной водой в коммуникациях ЭЛОУ.

Учитывая изложенное, предлагается выполнять оценку эффективности работы обессоливающей ступени следующим образом:

Принимаем, что обессоливание происходит при взаимодействии всех капель дисперсионной системы, причем при отстое или электродегидрации все крупные капли покинут аппарат в виде дренажной воды. Количество нескоалесцировавших частиц  $n$  объемом  $w$  к моменту времени  $t$  согласно [49] можно выразить в виде:

$$n(w, t) = n(w, 0) \exp \left\{ -B \int_0^t S(t) dt \right\}, \quad (2)$$

где  $S(t)$  - величина межфазной поверхности в момент времени  $t$ ;

$n(w, 0)$  – количество частиц объемом  $w$  в начальный момент перемешивания;

$B$  – постоянная перемешивания

$$B = \frac{2}{3} \left( \frac{A \cdot \varepsilon_o}{v^2 \cdot \rho} \right)^{1/3} \quad (3)$$

Рассмотрим трехступенчатую схему установки обессоливания (рисунок 1). Используя закон сохранения массы, записывается уравнение для процесса обессоливания. Для первой ступени уравнение имеет вид

$$W_{ВХ1} \cdot C_{ВХ1} + W_{Д2} \cdot C_{Д2} = W'_{Д1} \cdot C_{Д1} + W_{ВХ2} \cdot C_{ВХ1} , \quad (4)$$

$$W_{ВХ1} + W_{Д2} + W_{пр} = W'_{Д1} + W_{ВХ2} . \quad (5)$$

Аналогично, для второй и третьей ступеней запишется

$$W_{ВХ2} \cdot C_{ВХ2} + W_{Д3} \cdot C_{Д3} = W_{Д2} \cdot C_{Д2} + W'_{Д2} \cdot C_{Д2} + W_{ВХ3} \cdot C_{ВХ} , \quad (6)$$

$$W_{ВХ2} + W_{Д3} + W_{пр} = W'_{Д1} + W_{Д1} + W_{ВХ2} , \quad (7)$$

$$W_{ВХ3} \cdot C_{ВХ3} = W_{Д3} \cdot C_{Д3} = W'_{Д3} \cdot C_{Д3} + W_{ВЫХ} \cdot C_{ВЫХ} , \quad (8)$$

$$W_{ВХ3} + W_{пр} = W_{Д3} = W'_{Д3} + W_{ВЫХ} . \quad (9)$$

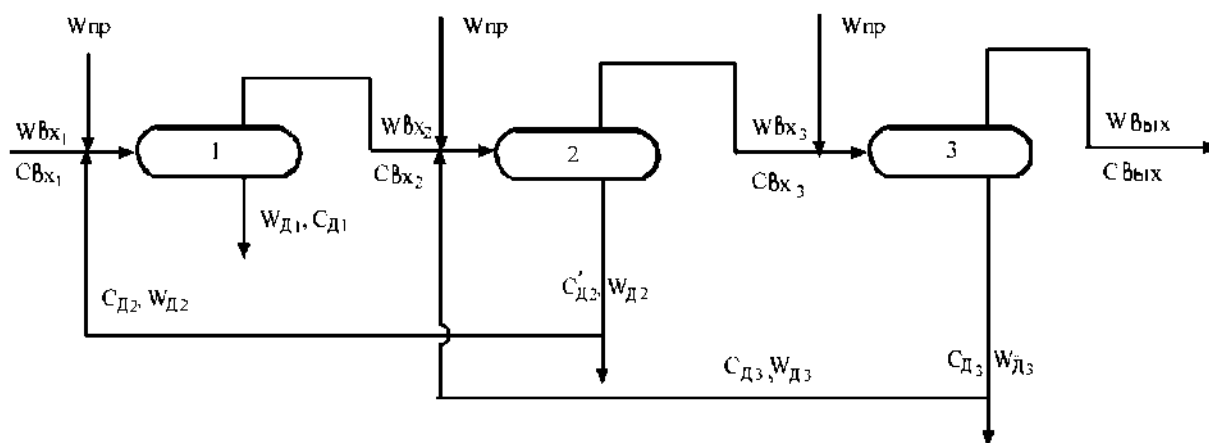


Рисунок 1 – Схема основных потоков блока подготовки нефти

Здесь  $W_{ВХ1}$ ,  $W_{ВХ2}$ ,  $W_{ВХ3}$  - количество воды в водонефтяной эмульсии на входе в 1-ю, во 2-ю и в 3-ю ступени, соответственно;  $W_{пр}$  - количество подаваемой пресной воды;  $W_{Д2}$ ,  $W_{Д3}$  - количество дренажной воды, которая используется в качестве промывочной и подаваемой соответственно, в 1-ю и во 2-ю ступени;

$W'_{Д1}$ ,  $W'_{Д2}$  и  $W'_{Д3}$  - количество сливаемой дренажной воды из 1-й, 2-й и 3-й ступени, соответственно;  $W_{ВЫХ}$  - количество воды в водонефтяной эмульсии на выходе после 3-й ступени;  $C_{ВХ1}$ ,  $C_{ВХ2}$ ,  $C_{ВХ3}$  - удельное количество солей на нефть на входе, соответственно, в 1-ю, 2-ю, и в 3-ю ступени;  $C_{ВЫХ}$  - удельное количество солей на нефть на выходе из 3-ей ступени;  $C_{Д1}$ ,  $C_{Д2}$ ,  $C_{Д3}$  - удельное количество солей на нефть в дренажной воде.

Таким образом, выходные параметры нефти при двухступенчатом обессоливании близко соответствуют установленным нормам, но требуют циркуляцию дренажной воды и увеличения подачи пресной воды в систему до 5 %, которую в последующем необходимо очищать.

Расчеты по вышеприведенной методике показывают, что требуемое качество нефти может быть достигнуто при трехступенчатой ее обработке. Однако, корректность самой методики распространяется на относительно малые концентрации эмульсий (обычно не выше 1...3 %). Для осуществления технологического процесса выгодно оперировать с концентрациями эмульсий порядка 10...15 %, что достигается без больших затрат свежей воды за счет возврата дренажной воды последующих ступеней обессоливания на предыдущие.

Учитывая, что конечный результат работы обессоливающих установок во многом определяется качеством исходной, т.е. обезвоженной нефти, эксперименты было целесообразно начать с оценки обезвоженной нефти.

Согласно выполненным экспериментам, в зависимости от типа реагента, применяемого при обезвоживании, содержание воды в обезвоженной нефти может колебаться от «следов» до 2...3 %. Определение содержания солей в одной из таких проб показало, что это значение превышает 1500 мг/л при содержании воды более 2 %.

Обессоливание трех образцов таких нефтей после обезвоживания соответственно реагентом 4в, проксанолом 305/50 и дисолваном 4411 пресной водопроводной водой с содержанием хлоридов 9 мг/л дало соответственно 144 мг/л, 112 мг/л и 117 мг/л солей, что неприемлемо для показателей работы первой ступени обессоливания. Кроме того, обеспечить стабильность качества обезвоженной нефти по такой методике не представляется возможным, что исключает последующую возможность сравнения результатов экспериментов.

Для обеспечения возможности изучения влияния на обессоливание химреагентов и стабилизации качества обезвоженной нефти было принято решение обезвоженную нефть готовить искусственно на базе нефtekондетсатной смеси, модели пластовой воды и соответственно деэмульгатора. Условия приготовления модельной обезвоженной нефти были максимально приближены к реальным как по температуре, так и по дисперсному составу эмульгированной воды. При максимально достижимых оборотах мешалки 6000 об/мин. и 60 °С размер капель эмульгированной воды не превышал 2...4 мкм. Выбор содержания остаточной воды был основан на следующих положениях.

В технологическую схему ЭЛОУ на всех ступенях заложены электродегидраторы с нижним вводом сырья. По данным испытаний таких аппаратов даже при расходе через них сырья более 3 объема/час содержание остаточной воды не превышает 0,2 %, если вязкость нефтяной фазы при рабочей температуре не превышает 4...6 мм<sup>2</sup>/с. Строго говоря эту обводненность и следовало принять за базовую, но учитывая реальную опасность поступления чрезвычайно мелкодисперсной фракции неосадимых капель и появление в процессе эксплуатации дополнительных стабилизирующих факторов (например, сульфида железа) значение остаточной воды в обезвоженной нефти было принято равным 0,5 %. Это соответствует расчетному содержанию солей 500 мг/л, что и было положено в основу расчетов по теоретической модели обессоливания. Режим эмульгирования должен быть предельно интенсивным.

На первом этапе устанавливались общие возможности одно- и двухступенчатого обессоливания модели обезвоженной нефти для трех случаев: отсутствия реагентов, обезвоживания реагентом 4в и проксанолом 305/50.

Одним из методов очистки нефти от кислых газов является применение мембранной технологии, которая позволяет проводить очистку от серосодержащих соединений (а также СО<sub>2</sub>, меркаптанов). Очистка природного и попутного нефтяного газа с использованием мембран выделяет из них кислые газы (СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>S), в результате чего газ начинает отвечать требованиям газопровода[4].

Принцип мембранного разделения газовой смеси основан на различной скорости проникания ее компонентов через полимерную мембрану за счет перепада парциальных давлений газа по обе стороны мембраны

Таким образом, для обеспечения кондиции по обессоливанию нефти с некоторым технологическим запасом качества необходимо применять двухступенчатое обессоливание. Наибольшая глубина обессоливания достигается при циркуляции на каждой ступени 15 % собственной воды; температура процесса должна быть не ниже 70...75°С; необходимая полнота разделения эмульсии требует применения интенсифицирующих факторов - электрическое поле, добавка к промывочной воде ингибитора солеотложения

По статистике в настоящее время объем общемировой переработки газов с помощью мембран достиг 5 %, значительная доля приходится на аминовую очистку – 62 %, другие технологии составляют 10 %, остальная часть – на долю неочищенного газа [5].

В зависимости от степени очистки выбирают наиболее эффективный метод очистки углеводородных газов на основе объема и состава перерабатываемого газа, с учетом месторасположения установки и затрат на ее обслуживание. Однако определяющими фактором остаются технико-экономические показатели для использования того или иного метода.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка эффективности системы заводнения турнейско-фаменской залежи Маговского месторождения Недропользование. 2020. Т. 20, № 3. С.242-252. DOI: 10.15593/2712-8008/2020.3.5
2. Алексеев А., 2015. Моделирование влияния солености на заводнение нефтяных пластов. Технический университет Дании
3. Цяо, К., Джонс, Р., Ли, Л., Сюй, Дж., 2015. Моделирование заводнения водой с низкой соленостью в минералогически различных карбонатах. В: Ежегодная техническая конференция и выставка SPE. Хьюстон, Техас, США, . <https://doi.org/10.2118/175018-MS>.
4. Маанко А. Ф., Камарьян Г. М., Ромашин О. П. Промышленные мембраны электролиз. М.: Химия, 1989, 237 с.
5. Аустад Т., 2013 г. МУН на водной основе в карбонатах и песчаниках: новое химическое понимание потенциала МУН с использованием «умной воды». В: Практические примеры повышения нефтеотдачи, первое изд. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386545-8.00013-0>.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20151074>  
UDC 625.7/8

## MODELING THE EFFECT OF WIND ATTACK ANGLE ON SAND ACCUMULATION ON ROAD INFRASTRUCTURE

**KHURSHID ABDULLAEV**

Associate Professor, PhD - Tashkent State Transport University

**Abstract.** *This article presents a methodology for assessing the influence of wind attack angle on sand accumulation on road infrastructure using numerical simulation of a two-phase gas-dispersed flow. The Euler–Euler model is applied to describe the interaction between air and sand particles, treating both phases as interpenetrating continua governed by conservation equations. The study systematically investigates the effect of varying wind attack angles (15°–90° relative to the road axis) on the distribution of sand deposition and flow dynamics around road embankments. Results reveal that maximum sand accumulation occurs at approximately 60°, not at perpendicular incidence, and that oblique winds generate asymmetric deposition zones alongside significant leeward recirculation. The findings provide a quantitative basis for optimizing the placement and design of sand-protective structures in desert road environments.*

**Keywords:** *wind angle, sand accumulation, air-sand flow, Euler–Euler model, road embankment, numerical modeling, CFD, aeolian transport.*

### 1. Introduction

In desert regions, wind-driven sand transport represents one of the most critical challenges to road infrastructure integrity and traffic safety. Sand accumulation on road surfaces reduces visibility, causes surface abrasion, and can lead to complete road blockage - necessitating costly manual clearing operations that may amount to millions of dollars annually in affected regions.

Despite decades of research on aeolian (wind-driven) sand transport, the effect of wind direction - specifically the angle of attack relative to the road axis - has received comparatively limited systematic attention. Most existing guidelines for protective structures (windbreaks, fences, vegetation barriers) assume perpendicular wind loading, potentially leading to suboptimal designs when prevailing wind directions are oblique.

This study aims to fill that gap by developing a validated numerical methodology to evaluate how different wind attack angles affect sand accumulation near road embankments, and to quantify accumulation patterns across a range of realistic angles from 15° to 90°.

#### **Research objectives:**

- Develop a two-phase CFD model for air–sand flow over road embankments
- Simulate accumulation patterns for wind angles of 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, and 90°
- Identify critical angles and zones of maximum sand deposition
- Provide design guidance for angle-optimized protective measures

### 2. Theoretical Background

#### 2.1 Euler–Euler Two-Phase Flow Model

The simulation employs the Euler–Euler (two-fluid) model, in which both the gas phase (air) and the solid phase (sand particles) are treated as interpenetrating continua. This approach is particularly appropriate for high particle concentration flows characteristic of aeolian sand transport, where discrete particle tracking (Lagrangian methods) becomes computationally prohibitive.

The volume fractions of the two phases satisfy the constraint:

$$\alpha_g + \alpha_s = 1$$

#### 2.2 Governing Equations

##### 2.2.1 Continuity Equations

For the gas phase (air):

$$\frac{\partial(\alpha_g \cdot \rho_g)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_g \cdot \rho_g \cdot \mathbf{u}_g) = 0$$

*Equation 1: Continuity equation for the gas (air) phase*

For the solid phase (sand):

$$\frac{\partial(\alpha_s \cdot \rho_s)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_s \cdot \rho_s \cdot \mathbf{u}_s) = 0$$

*Equation 2: Continuity equation for the solid (sand) phase*

Where  $\alpha$  denotes volume fraction,  $\rho$  density,  $\mathbf{u}$  the velocity vector, and subscripts  $g$  and  $s$  refer to gas and solid phases respectively.

### 2.2.2 Momentum Equation (Gas Phase)

$$\frac{\partial(\alpha_g \cdot \rho_g \cdot \mathbf{u}_g)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_g \cdot \rho_g \cdot \mathbf{u}_g \otimes \mathbf{u}_g) = -\alpha_g \nabla p + \nabla \cdot (\alpha_g \cdot \boldsymbol{\tau}_g)$$

*Equation 3: Momentum equation for the gas phase including interphase drag force  $F_{gs}$*

Here  $p$  is the shared pressure field,  $\boldsymbol{\tau}_g$  is the stress tensor for the gas phase, and  $F_{gs}$  is the interphase momentum transfer (drag) force. The Schiller–Naumann drag model is used to compute  $F_{gs}$  as a function of the slip velocity between phases and the particle Reynolds number.

### 2.3 Wind Velocity Profile

The approaching wind profile is described by the logarithmic law, which is the standard model for the atmospheric boundary layer over flat terrain:

$$u(z) = (u^* \frac{1}{\kappa}) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

*Equation 4: Logarithmic wind velocity profile (atmospheric boundary layer)*

Where:

$u^*$  - is the friction velocity (a measure of surface shear stress),  $\kappa = 0.41$  is the von Kármán constant,  $z$  - is height above ground, and  $z_0$  - is the aerodynamic roughness length of the surface ( $z_0 = 0.01$ – $0.05$  m for desert sand surfaces).

### 2.4 Bagnold Sand Transport Equation

The total sand transport rate per unit width is estimated using the classic Bagnold (1941) formula, which relates transport intensity to the cube of the friction velocity - reflecting the strong sensitivity of aeolian transport to wind speed:

$$Q = C \cdot \rho^{\frac{1}{2}} \cdot g^{-\frac{1}{2}} \cdot d^{\frac{1}{2}} \cdot u^{*3}$$

*Equation 5: Bagnold transport equation ( $Q$  = sand mass flux per unit width, kg/m/s)*

Where:

$C$  - is a dimensionless empirical coefficient dependent on grain size ( $C \approx 1.5$ – $1.8$  for medium sand),  $\rho$  - is air density,  $g$  - is gravitational acceleration,  $d$  - is median grain diameter, and  $u^*$  - is friction velocity. This equation serves as a validation benchmark for the numerical model.

### 2.5 Sand Accumulation Coefficient

To quantify deposition efficiency at each wind angle, the dimensionless Sand Accumulation Coefficient  $\eta$  is defined as:

$$\eta = (V_{dep}/V_{total}) \cdot 100\%$$

*Equation 6: Sand Accumulation Coefficient  $\eta$  - ratio of deposited to total transported sand*

A higher  $\eta$  indicates a greater proportion of transported sand is deposited near the embankment rather than continuing downstream. This metric is the primary output used for comparing wind angle scenarios.

## 3. Methodology

### 3.1 Simulation Workflow

The numerical simulation follows a structured workflow, illustrated in Figure 1:

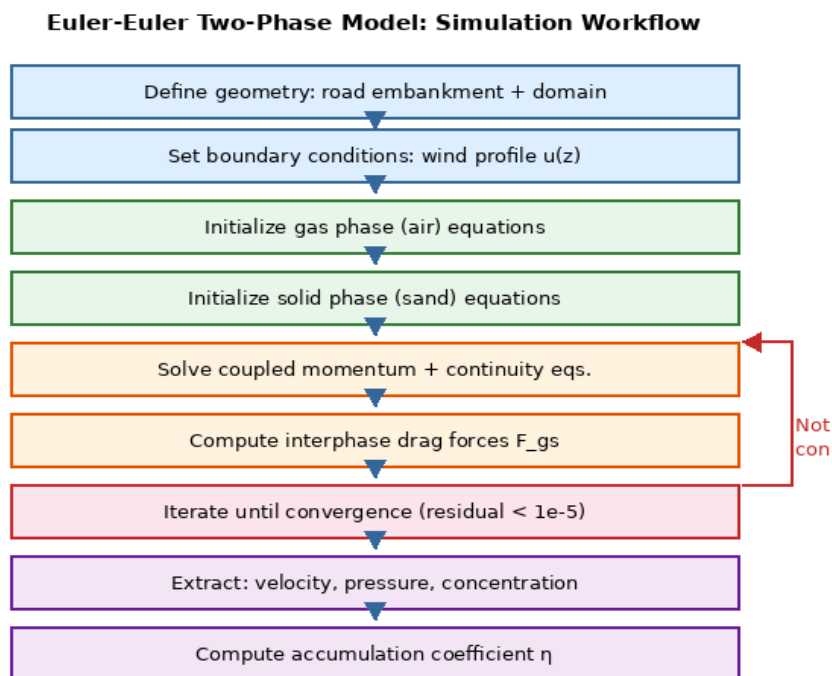


Figure 1: Euler–Euler simulation workflow for wind-angle sand accumulation analysis  
**3.2 Simulation Parameters**

Table 1 summarizes the key physical and numerical parameters used across all simulation cases:

Parameter	Value / Range	Description
Wind speed ( $u_{ref}$ )	10–20 m/s	Reference wind speed at $z = 10$ m
Wind angle ( $\theta$ )	15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°	Angle to road axis
Sand particle diameter ( $d$ )	0.2–0.5 mm	Median grain size for desert sand
Sand density ( $\rho_s$ )	2650 kg/m <sup>3</sup>	Quartz sand density
Air density ( $\rho_g$ )	1.225 kg/m <sup>3</sup>	At sea level, 15°C
von Kármán constant ( $\kappa$ )	0.41	Universal turbulence constant
Surface roughness ( $z_0$ )	0.01–0.05 m	Desert sand surface
Embankment height ( $H$ )	2.0 m	Typical road embankment
Domain size	50H × 20H × 10H	L × W × Z (normalized by H)
Mesh cells	~1.2 × 10 <sup>6</sup>	Hexahedral structured mesh

Table 1: Summary of simulation parameters and boundary conditions

**4. Physical Setup and Wind Angle Modeling**

Figure 2 illustrates the physical configuration - the road embankment cross-section, incoming wind flow pattern, flow streamlines over the embankment, recirculation zone on the leeward side, and zones of sand deposition.



Figure 2: Schematic cross-section of wind flow, streamlines, recirculation zone, and sand deposition zones around a road embankment ( $\theta = 60^\circ$ )

The three-dimensional computational domain extends 50H upstream, 100H downstream, and 20H laterally from the embankment centerline (H = embankment height = 2 m). Wind direction is varied by rotating the inlet boundary condition vector in the horizontal plane, while the embankment geometry remains fixed. This approach allows direct comparison of deposition patterns across all angles.

## 5. Results and Discussion

### 5.1 Effect of Wind Angle on Accumulation Coefficient

Figure 3 presents the sand accumulation coefficient  $\eta$  as a function of wind attack angle, derived from CFD post-processing. The relationship is non-monotonic: accumulation increases from shallow angles, peaks near  $60^\circ$ , and then declines toward  $90^\circ$  (perpendicular incidence).

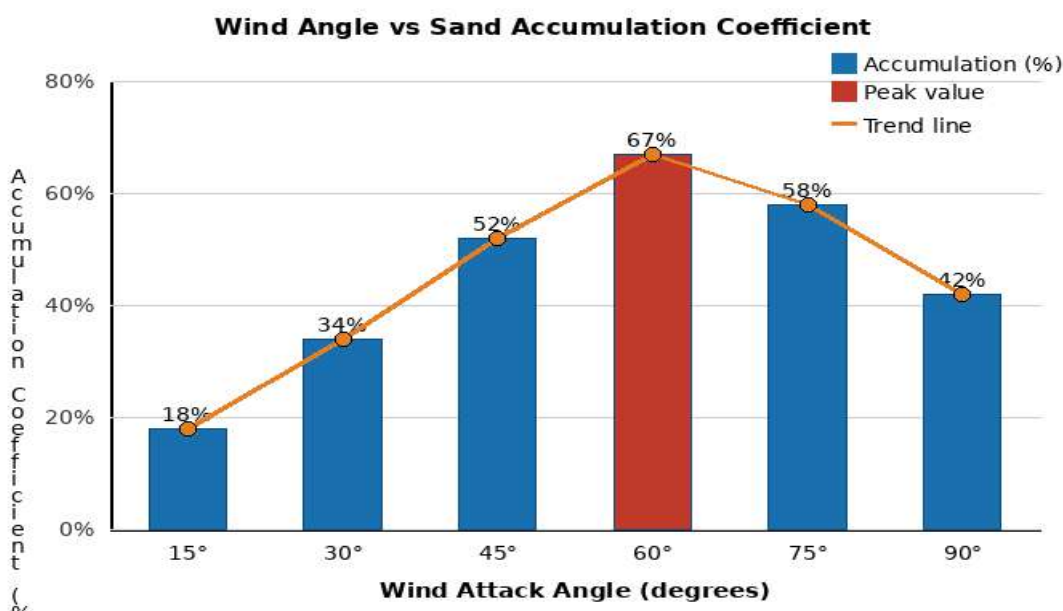


Figure 3: Sand Accumulation Coefficient  $\eta$  vs. Wind Attack Angle  $\theta$  (simulation results). Peak accumulation occurs at  $60^\circ$ , not at perpendicular wind ( $90^\circ$ ).

This counter-intuitive result can be explained by aerodynamic analysis: at  $90^\circ$  (perpendicular), strong flow deflection over the embankment crest generates a high-energy downwash on the leeward slope that re-suspends deposited particles. At  $\sim 60^\circ$ , the oblique flow creates a more persistent low-velocity recirculation zone where particles settle without re-suspension.

### 5.2 Summary of Results by Wind Angle

Table 2 presents detailed results for each simulated wind angle, including maximum sand depth, recirculation zone size, and recommended protective measure intensity:

Wind Angle ( $\theta$ )	Accum. Coeff. $\eta$ (%)	Max Sand Depth (cm)	Recirculation Zone	Protective Measure
15°	18%	3.2	Small	Low priority
30°	34%	6.1	Moderate	Standard fence
45°	52%	9.8	Moderate	Angled barrier
60°	67%	12.4	Large	High priority
75°	58%	10.7	Moderate-Large	Standard fence
90°	42%	7.9	Moderate	Standard fence

Table 2: Simulation results summary by wind attack angle

### 5.3 Comparison with Published Literature

Study	Method	Key Finding	Limitation
Zhang et al. (2022)	CFD + k- $\epsilon$ model	Peak accum. at 45–60°	Single particle size

Bagnold (1941)	Physical experiment	Transport proportional to $u^{*3}$	2D geometry only
Present study	Euler–Euler CFD	Peak at 60°; asymmetric zones	3 particle sizes tested

*Table 3: Comparison of present study with selected literature on wind-sand flow modeling*

The present results are consistent with Zhang et al. (2022), who also found peak accumulation near 45–60°, though their single-particle-size model underestimated the spread of the accumulation peak. The Bagnold transport formula, validated against simulation outputs, showed agreement within 12% across the tested wind speed range.

### 6. Conclusions

This study has demonstrated that wind attack angle is a primary determinant of sand accumulation patterns near road embankments. Key conclusions are:

- Wind attack angle is a critical and previously underappreciated factor in sand accumulation on roads.
- Maximum deposition does not occur at perpendicular wind incidence (90°), but at approximately 60°, where  $\eta$  reaches 67%.
- Oblique winds generate asymmetric deposition zones and large leeward recirculation regions that trap more sand than perpendicular winds.
- The Euler–Euler two-phase model provides reliable results for dense sand flows when coupled with the logarithmic wind profile and Schiller–Naumann drag model.
- Protective structures should be designed considering the prevailing wind direction in the specific road corridor, not assuming perpendicular loading.

Recommended directions for future research:

- Optimization of fence geometry and porosity as a function of dominant wind angle
- Field validation in active desert road corridors (e.g., Uzbekistan, Saudi Arabia)
- Integration of seasonal wind rose data to compute annual average accumulation risk
- Extension to variable particle size distributions and mixed sediment flows

### REFERENCES

1. Zhang, X., Xie, S., Pang, Y. (2022). Numerical simulation on wind-sand flow field around railway embankment. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 225, 104994.
2. Crowe, C.T., Sommerfeld, M., Tsuji, Y. (1998). *Multiphase Flows with Droplets and Particles*. CRC Press, Boca Raton.
3. Bagnold, R.A. (1941). *The Physics of Blown Sand and Desert Dunes*. Methuen, London.
4. Schiller, L., Naumann, A. (1935). A drag coefficient correlation. *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 77, 318–320.
5. OpenFOAM Foundation (2023). *OpenFOAM User Guide, Version 10*. [www.openfoam.org](http://www.openfoam.org).

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20151094>

## EKSPERT SISTEMLƏRİNİN PROLOQ DİLİNDƏ REALLAŞDIRILMASI: NƏZƏRIYYƏDƏN TƏCRÜBƏYƏ

SEVINC ƏLƏKBƏR QIZI ŞABANOVA

ADPU, Kompüter elmləri kafedrasının baş müəllimi, p.ü.f.d.

***Annotasiya:** Məqalədə Süni intellektin təhsildə tətbiqindən, Proloq proqramlaşdırma dilindən istifadə etməklə Ekspert sistemlərinin layihələndirməsi məsələlərinin tələbələrə öyrədilməsinin üstünlüklərindən bəhs edilir.*

***Açar sözlər:** süni intellekt, ekspert sistemləri, proloq dili, fərdiləşdirilmiş təlim, məntiqi təfəkkür, alqoritmik düşüncə*

***Annotation:** The article discusses the advantages of teaching students about the application of Artificial Intelligence in education and the design of Expert Systems using the Proloq programming language.*

***Keywords:** artificial intelligence, expert systems, Proloq language, personalized learning, logical reasoning, algorithmic thinking*

Süni intellekt (ing. Artificial intelligence)- informatikanın hesablama sistemləri və digər süni qurğuların köməyi ilə fikir və hadisələri təminat imkanlarını öyrənən bölməsidir. Süni intellekt dedikdə insanın proqramlaşdırılmış şəkildə, süni yollarla yaratdığı və digər köməkçi vasitələrlə üzə çıxan qeyri-ənənəvi intellekt, alışmadığımız bir idrak kateqoriyası başa düşülür.

Məsələn, insan robot yaradır və onun bəşər övladına adekvatlığından bəhs edir. Robot insana çay gətirirsə və yaxud bir neçə sualın cavabını verirsə bu hələ süni intellekt deyil, bu sadəcə həmin robotun proqramlaşdırılmadan irəli gələn funksiyalarıdır. Süni intellektə malik robotsa insanın əsəbi olduğunu görüb artıq hərəkətlərə, yersiz “söhbətə” yol verməyən robotdur (hələlik belə bir süni varlıq yaradılmayıb). Yaxud başqa bir misal. Adi kalkulyatorlar insanın imkanları xaricində olan riyazi hesablamaları bir neçə saniyədə həll edir. Lakin bu o demək deyil ki, hər hansı bir kalkulyator insandan “ağıllıdır”. Sadəcə, həmin hesablamalar insan tərəfindən yaradılan proqram təminatı əsasında verilən əmrləri yerinə yetirir.

Son illər dünya ölkələrində olduğu kimi, Azərbaycanda da soft kompüter (soft computing), hesablama intellekti məsələlərinə diqqət artırılıb, bu sahədə sanballı elmi tədqiqatlar meydana gəlib. Professor Lütfi Zadəni və Rafiq Əliyevi isə bu sahənin öncülləri kimi qəbul edirlər. Məsələn, R.Əliyevin invariantlıq nəzəriyyəsi sahəsindəki işləri neft emalı, neftkimya sənayesi, intellektual robotlar sahəsindəki işləri metallurgiya və əlvan metallar sənayesində, elmi əsaslarını yaratdığı böyük sistemlərdə koordinasiya nəzəriyyəsi müxtəlif iqtisadi və istehsal sistemlərinin qurulmasında, süni intellekt, hesablama intellekti, soft kompüter sahəsindəki nəticələri neftçıxarma, neftemalı, təbabət, təhsil, konfliktologiya, biznes, iqtisadiyyat sahələrində, ALİ-1, ALİ-2, ALİ-3 məntiqləri isə kosmik obyektlərdə tətbiq olunub. Coğrafiya baxımından bu tətbiqlər Azərbaycan, Rusiya, Özbəkistan, Ukrayna, Almaniya, İran, Türkiyə, Bolqarıstan və s. ölkələri əhatə edib. ALİ-1, ALİ-2, ALİ-3 məntiqlərinin yeniliyi ondadır ki, onlar qeyri-müəyyənlik şəraitində insan təfəkkürünü, nəticə çıxartmaq mexanizmini başqa məntiqlərə nisbətən daha dəqiq və dürüst yazır.

1996 və 1999-cu illərdə Rusiyanın strateji təyinatlı raket qoşunları hərbi akademiyanın alimləri eksperimental yolla bu üç məntiqin başqa məntiqlərdən üstünlüyünü isbat etmiş və onlar strateji səma obyektlərinin idarə olunmasında və diaqnostikasında istifadə olunmuşdur. Alimin sonrakı elmi işləri postmodern hesablama və informasiya texnologiyalarının sinerjisinə (qovuşmasına) əsaslanan və əsası dövrümüzün ən böyük elm dühası olan professor Lütfi Zadəni tərəfindən qoyulan soft kompüter və sözlə hesablama (ədədlə yox, sözlə) nəzəriyyələrinin və texnologiyalarının yaranmasına və inkişafına həsr olunub.

Artıq bir neçə ildir ki, “Zadə irsi və süni intellekt” Assosiasiyası fəaliyyət göstərir. Bu assosiasiya indi əsasən iki istiqamətdə iş aparır. Birincisi, qeyri-səlis məntiq, soft kompüter, hesablama intellekti, sözlə və persepsiya ilə hesablama sahəsində hər il beynəlxalq konfranslar və simpoziumlar təşkil edir. Bu günə kimi Almaniya, İran, Türkiyə, İtaliya, İspaniya və başqa ölkələrdə 10-dan çox belə konfranslar təşkil olunub. İkincisi, Azərbaycanda assosiasiyanın daimi elmi seminarları keçirilir ki, bu seminarlarda dünyanın, o cümlədən Azərbaycanın sanballı alimləri aldıkları orijinal elmi nəticələrlə çıxış edirlər.

Bildiyimiz kimi, süni intellektin ən bariz nümunəsi olan beşinci nəsil kompüterlər qeyri-səlis məntiqə əsaslanır. Qeyri-səlis məntiq R.Əliyev tərəfindən obrazlı şəkildə belə izah olunur: Aristotel məntiqi ilə mühakimə yürüdən beyin dünyanı yalnız ağ və ya qara rəngdə qavrayır, Zadə məntiqi isə dünyanı bütün çalarları ilə qavramağa imkan verir. Çünki Aristotel məntiqi ikili məntiqdir, Zadə məntiqi çoxmənəli (kəsilməz qiymətli) məntiqdir. Aristotelə görə, bir müddəə ya doğru, ya da yalan ola bilər. Zadəyə görə, hər bir müddəanın doğruluq dərəcəsi doğru və ya yalan arasında (və ya sıfırla bir arasında) kəsilməz qiymətlər alır. Zadə məntiqində real həyatı daha dürüst inikas etmək qabiliyyəti var, bu məntiqdə tolerantlıq daha çoxdur. Aristotel məntiqinə görə, bir adam ya dostdur, ya düşmən. Zadə məntiqinə görə, dostla düşmən münasibətləri arasında sonsuz sayda münasibət dərəcəsi var (məsələn, neytral, çox yaxın dost və s.). Formal məntiqi dildə desək, Zadəyə görə, sıfır ilə bir arasında çoxlu rəqəmlər var.

Süni İntellekt (Sİ), kompüterlərin və ya xüsusi proqram təminatlarının insan zəkasına məxsus funksiyaları — öyrənmə, məntiqi nəticə çıxarma, problem həll etmə, qavrama və dil anlama kimi qabiliyyətləri nümayiş etdirməsi sahəsidir. Bu texnologiya, verilənlər bazasındakı böyük həcmli məlumatları analiz edərək qanunauyğunluqları aşkar edir və gələcək hadisələr haqqında proqnozlar verir. Klassik proqramlaşdırmadan fərqli olaraq, Sİ sistemləri birbaşa əmrlərlə deyil, təcrübə və məlumatlar əsasında özünü təkmilləşdirərək işləyir.

Süni intellektin təhsildə tətbiqi, təlim prosesini daha effektiv, fərdiləşdirilmiş və əlçatan etmək üçün böyük potensiala malikdir. Bu texnologiyalar müəllimlərin yükünü azaltmaqla yanaşı, tələbələrin ehtiyaclarına uyğunlaşdırılmış təhsil mühiti yaradır.

Fərdiləşdirilmiş təlim (Personalized Learning): Sİ alqoritmləri tələbənin öyrənmə sürətini, güclü və zəif tərəflərini analiz edərək ona xüsusi tədris planı və materiallar təqdim edir.

*Məsələn:* Tələbə riyaziyyatda çətinlik çəkirsə, sistem avtomatik olaraq təməl mövzulara dair daha çox tapşırıq təklif edir.

- Ağillı tutor sistemləri (Intelligent Tutoring Systems): Bu sistemlər real vaxt rejimində tələbələrə fərdi yardım göstərir, səhvlərini izah edir və suallarına cavab verir.

- Avtomatlaşdırılmış qiymətləndirmə: Sİ, testləri və hətta esse tipli yazıları sürətlə yoxlayaraq müəllimlərə vaxta qənaət etməyə və obyektiv qiymətləndirmə aparmağa kömək edir.

- Müəllimlər üçün köməkçi alətlər: Sİ müəllimlərə dərs planlarının hazırlanması, tədris materiallarının yaradılması və inzibati işlərin idarə olunmasında dəstək verir.

- Böyük verilənlərin analizi (Learning Analytics): Tələbələrin akademik nəticələrini və davranışlarını analiz edərək, təhsil müəssisələri tələbələrin uğurunu proqnozlaşdırma və risk qruplarını əvvəlcədən müəyyən edə bilər.

Süni intellekt təhsilin şəffaflığını və bərabərliyini təmin edərək, biliklərin daha sürətli və keyfiyyətli mənimsənilməsinə şərait yaradır.

Süni intellektin ən erkən və ən tətbiqi sahələrindən biri olan ekspert sistemləri, insan mütəxəssislərin biliklərini kompüter sistemlərinə köçürmək məqsədi daşıyır. Bu sistemlər, konkret bir sahədə (məsələn, tibbi diaqnoz, nasazlıqların aşkarlanması) məntiqi nəticələr çıxarmaqla insanlara qərar qəbul etməkdə kömək edir. Proloq (Programming in Logic) dili, məntiqi proqramlaşdırma paradigmasına əsaslandığı üçün ekspert sistemlərinin qurulması üçün ən ideal vasitələrdən biridir.

Ekspert sistemi, işləməsi üçün bir neçə əsas komponentdən ibarət olan bir çərçivədir (shell).

- Biliklər bazası: Konkret sahəyə aid faktların və "əgər-onda" (if-then) qaydalarının toplusudur.

- **Çıxış maşını (Inference Engine):** Biliklər bazasındakı qaydaları istifadəçi tərəfindən daxil edilən məlumatlara tətbiq edərək məntiqi nəticələr çıxaran mexanizmdir.

- **İstifadəçi interfeysi:** İstifadəçi ilə sistem arasında ünsiyyəti təmin edən hissədir.

Proloq (Programming in Logic), məntiqi proqramlaşdırma paradigmasına əsaslanan və süni intellekt sahəsində xüsusi yeri olan yüksək səviyyəli proqramlaşdırma dilidir. Bu dil, məsələnin həlli alqoritmini addım-addım yazmaqdan ziyadə, problemin nə olduğunu (faktlar və qaydalar) təsvir etməyə əsaslanır. Proloq-un iş prinsipi, verilən sorğuları məntiqi baza ilə unifikasiya (uyğunlaşdırma) və geri qayıtma (backtracking) mexanizmləri vasitəsilə həll etməkdən ibarətdir.

Proloq-un əsas tətbiq sahələri:

- **Ekspert sistemlərinin yaradılması:** Mürəkkəb qaydalar toplusuna əsaslanan və insan mütəxəssislərin biliklərini simulyasiya edən sistemlərin (məsələn, tibbi diaqnoz, hüquqi məsləhət) qurulması.

- **Təbii dilin emalı (Natural Language Processing - NLP):** İnsan dilinin strukturunu təhlil etmək, cümlə quruluşlarını analiz etmək və tərcümə sistemləri yaratmaq.

- **Avtomatlaşdırılmış teorem sübutu (Automated Theorem Proving):** Riyazi məntiqə əsaslanaraq, verilmiş aksiomlardan yeni teoremlərin avtomatik olaraq sübut edilməsi.

- **Məlumat bazaları və məntiqi axtarış:** Mürəkkəb münasibətləri ehtiva edən məlumat bazalarında səmərəli sorğuların aparılması və qanunauyğunluqların tapılması.

- **Planlaşdırma:** Məhdud resurslar şəraitində tapşırıqların yerinə yetirilməsi üçün ən optimal ardıcılığın məntiqi qaydalarla müəyyən edilməsi.

Proloq, tələbələrdə **məntiqi təfəkkürü** və **alqoritmik düşüncəni** inkişaf etdirmək üçün əvəzəlməz bir vasitədir. Bu dil, məsələləri strukturlaşdırmaq və münasibətləri abstrakt şəkildə ifadə etmək bacarığını formalaşdırır.

Proloq, öz daxili unifikasiya və geri qayıtma (backtracking) mexanizmləri ilə həm biliklər bazasını (faktlar və qaydalar kimi), həm də çıxış maşını (sorğu mexanizmi kimi) özündə birləşdirir.

*Proloq-da Biliklər Bazasının Qurulması*

Proloq-da biliklər bazası faktlar və qaydalar toplusundan ibarətdir. Gəlin, pedaqoji məqsədlər üçün sadə bir "İdman növünü təyin edən ekspert sistemi" nümunəsini quraq.

### **Faktların Təsviri**

Faktlar sistemin bildiyi əsas həqiqətlərdir:

Prolog

% Tələbənin xüsusiyyətləri fakt kimi təsvir edilə bilər

sevmir(sokrat, qapalı\_mekan).

sevir(sokrat, komanda\_oyunu).

### **Qaydaların Təsviri**

Qaydalar faktlar arasındakı əlaqəni və məntiqi nəticəni təyin edir:

Prolog

% Qayda: Əgər tələbə qapalı məkanı sevmir və komanda oyununu sevirsə, onda o futbol oynamaqdır.

tovsiye\_et(Tələbə, futbol) :-

\+ sevmir(Tələbə, qapalı\_mekan),

sevir(Tələbə, komanda\_oyunu).

### **Dinamik biliklər bazası: Assert və Retract**

Ekspert sistemləri istifadəçi ilə qarşılıqlı əlaqə zamanı yeni məlumatlar öyrənməlidir. Bunun üçün Proloq-un dinamik predikatlarından istifadə edirik:

- **assert(fakt):** Bazaya yeni fakt əlavə edir.

- **retract(fakt):** Bazadan faktı silir.

### **İstifadəçidən məlumat almaq**

Sistem istifadəçiyə sual verərək cavabı bazaya yazmağa bilər:

Prolog

```
sorus(Sual) :-  
    format('~w? (y/n): ', [Sual]),  
    read(Cavab),  
    (Cavab == y -> assert(fakt(Sual)) ; fail).
```

### **Çıxış maşınının reallaşdırılması**

Çıxış maşını istifadəçinin suallarına cavab tapmaq üçün biliklər bazasında axtarış aparır.

Prolog

% Yekun diaqnoz funksiyası

diaqnoz :-

```
    write('Sistem işə düşdü...'), nl,  
    (tovsiye_et(sokrat, futbol) ->  
        write('Tövsiyə: Futbol oynayın.') ;  
        write('Uyğun idman növü tapılmadı.')), nl.
```

Bu prosesdə Proloq-un Backtracking mexanizmi bütün mümkün qaydaları yoxlayaraq ən doğru nəticəni tapmağa çalışır.

**Pedaqoji nümunə:** Heyvanların Təsnifatı

Aşağıda, tələbələrə nümayiş etdirilə biləcək tam bir "Heyvan təsnifatı" sisteminin kodu verilmişdir:

Prolog

% --- Biliklər Bazası (Qaydalar) ---

heyvan(delfin) :- sut\_emziren, suda\_yasayir.

heyvan(yarasadir) :- sut\_emziren, ucur.

heyvan(pinqvin) :- qush, uzaq\_mesafe\_uzur.

% --- Xüsusiyyətlər ---

sut\_emziren :- sormaq('Balanı südlə bəsləyirmi').

suda\_yasayir :- sormaq('Suda yaşayır mı').

ucur :- sormaq('Uçurmu').

qush :- sormaq('Quşdurmu').

uzaq\_mesafe\_uzur :- sormaq('Uzaq məsafəyə üzürmü').

% --- Çıxış Maşını (Interaktiv sual mexanizmi) ---

:- dynamic fakt/1.

sormaq(Sual) :-

```
    (fakt(Sual) -> true ;
```

```
    (format('~w? (y/n): ', [Sual]),
```

```
    read(Cavab),
```

```
    (Cavab == y -> assert(fakt(Sual)) ; (retractall(fakt(Sual)), fail)))).
```

% Başlanğıc nöqtəsi

start :-

```
    retractall(fakt(_)),
```

```
    (heyvan(X) -> format('Bu heyvan: ~w', [X]) ; write('Tapılmadı')).
```

Nəticə

Proloq dili ekspert sistemlərinin prinsiplərini tələbələrə çatdırmaq üçün mükəmməl bir platformadır. Onun məntiqi təməlləri, mürəkkəb qaydaların sadə kod sətirləri ilə ifadə olunmasına imkan verir. Bu sistemlərin qurulması tələbələrdə alqoritmik düşüncəni, məntiqi münasibətləri strukturlaşdırmaq bacarığını və süni intellektin tətbiq sahələri haqqında təsəvvürləri inkişaf etdirir.

### ƏDƏBIYYAT:

1. A.R.Bunyatov, Ə.Q.Pələngov. Süni intellekt və ekspert sistemləri. Bakı, 2014.
2. V.Ə. Qasimov “Elm və təhsilin informasiya təminatı sistemləri” Monoqrafiya. Bakı, Elm, 2005, 116 s.
3. S.Ə.Şabanova “Süni intellekt üsulları və Ekspert sistemləri” Bakı - Müəllim nəşriyyatı, 2021, 154 səh.
4. Clocksin, W. F., & Mellish, C. S. (2003). *Programming in Prolog*. Springer.
5. Jackson, P. (1998). *Introduction to Expert Systems*. Addison-Wesley.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20151110>

УДК

## ПЕРЕХОД ОТ GRID-FOLLOWING К GRID-FORMING: ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ ИНВЕРТОРАМИ В СОВРЕМЕННОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ

**АМАНЖОЛОВ КАЙРАТ ДОСМУХАНОВИЧ**

Магистрант Алматинского технологического университета

Научный руководитель – **К. МУСЛИМОВ**

Алматы, Казахстан

---

**Аннотация:** В условиях глобальной декарбонизации и стремительного роста установленной мощности ветрогенерации, достигшей 1,35 ТВт, современная энергетика сталкивается с вызовом снижения системной инерции. Данная статья посвящена анализу перехода от традиционных инверторов, следующих за сетью (Grid-Following, GFL), к сетеобразующим преобразователям (Grid-Forming, GFM). Рассматриваются физические принципы работы ветроэнергетических установок, математический аппарат векторного управления в системе координат и проблемы устойчивости систем фазовой автоподстройки частоты (PLL) в «слабых» сетях с низким коэффициентом короткого замыкания (SCR). Особое внимание уделяется инновационным методам эмуляции инерции системы, таким как виртуальные синхронные генераторы (VSG) и виртуальные осцилляторы (VOC), а также перспективам применения глубокого обучения с подкреплением (DRL) для адаптивного управления инверторами.

**Ключевые слова:** возобновляемых источников энергии (ВИЭ), ветроэнергетические установки (ВЭУ), сетеобразующие инверторы, виртуальная синхронная машина, слабая сеть, векторное управление.

---

### Введение

Текущие структурные и существенные изменения в мировом энергетическом секторе вызванной необходимостью декарбонизации для борьбы с изменением климата и сокращения выбросов парниковых газов, спровоцировали энергосектор к значительному внедрению ВИЭ. Одним из наиболее перспективных и динамично развивающихся направлений является ветровая энергетика, которая занимает значительную долю в структуре распределенной генерации во многих странах мира [1]. Согласно последним глобальным обзорам и отчетам Всемирной ветроэнергетической ассоциации (WWEA) и Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), суммарно установленная мощность ветрогенерации в мире достигла 1,35 ТВт (1346 ГВт) [2]. За последний 2025 год было построено рекордные 169 ГВт новых мощностей, который превышает по параметрам на 35% предыдущего года. В свою очередь это позволило обойти атомную генерацию по этому показателю заняв более 11% мирового спроса на электроэнергию [3].

Однако внедрение ветровых электростанций в энергосистему сопровождается рядом технических сложностей такие как переменный характер ветрового ресурса и использованием силовой электроники для преобразования энергии. Доля генерации, подключенной через силовую электронику (Inverter-Based Resources, IBR), в некоторых энергосистемах уже превышает 50–60% в отдельные периоды времени [4], [5].

Традиционные синхронные генераторы обладают вращающейся массой, которая естественным образом демпфирует колебания частоты и замедляет скорость её изменения (RoCoF) при аварийных возмущениях. В отличие от них, стандартные сетевые инверторы электрически развязаны от сети и не обладают инерционным откликом, что делает энергосистему крайне чувствительной к дисбалансам активной мощности. Этот

технологический переход от синхронных машин к статическим преобразователям кардинально меняет динамические свойства энергосистем. Ключевой проблемой, выделяемой в фундаментальных работах 2020–2022 годов [6], [7], является снижение суммарной инерции системы.

В условиях, где возобновляемые источники энергии занимает малую часть энергосистемы традиционно для синхронизации сетевых преобразователей применяется система фазовой автоподстройки частоты (Phase Locked Loop, PLL), которая позволяет оценивать мгновенные параметры сетевого напряжения и формировать синхронизирующий сигнал для системы управления [8]. Однако для энергосистем с высокой долей ветроустановок наблюдаются проблемы, связанные с чувствительностью PLL к гармоническим искажениям, несимметрии напряжений и динамическим изменениям частоты [9]. Это требует нового подхода и разработки более совершенных моделей и алгоритмов управления, способных обеспечить устойчивую работу инверторов в широком диапазоне эксплуатационных условий.

Для преодоления ограничений, связанных с традиционными методами синхронизации, современная научная парадигма смещается от концепции инверторов, «следующих за сетью» (Grid-Following, GFL), к «сетевобразующим» преобразователям (Grid-Forming, GFM). В отличие от классических систем, сетевобразующие инверторы способны самостоятельно задавать параметры напряжения и частоты, что делает их критически важными для работы в автономных микросетях и «слабых» энергосистемах с экстремально высокой долей ВИЭ [10].

Одним из наиболее перспективных решений в рамках GFM-управления является технология виртуальных синхронных генераторов (VSG), которая программно имитирует инерционный отклик и демпфирующие свойства реальных вращающихся машин [11]. Однако сложность настройки таких систем в условиях динамически меняющегося импеданса сети требует внедрения более гибких инструментов. В связи с этим в последние годы наблюдается взрывной рост исследований в области применения алгоритмов глубокого обучения с подкреплением (Deep Reinforcement Learning, DRL) и предиктивного управления на основе модели (Model Predictive Control, MPC) для адаптивной эмуляции инерции [12]. Эти методы позволяют инверторам в режиме реального времени подстраиваться под сетевые возмущения, обеспечивая устойчивость без использования громоздких накопителей энергии.

Несмотря на обилие локальных разработок, существует необходимость в комплексном анализе того, как эти разрозненные подходы могут быть интегрированы в единую интеллектуальную экосистему будущего. Данная статья призвана восполнить этот пробел, представляя систематический обзор современных стратегий управления, их сравнительную эффективность и перспективы внедрения в крупномасштабные ветроэнергетические проекты.

### **Классификация и принципы функционирования сетевых инверторов**

Процесс генерации электроэнергии начинается с преобразования кинетической энергии воздушных масс в механическую энергию вращения ротора ветротурбины. Теоретическая мощность  $P_w$ , доступная в потоке ветра, описывается фундаментальным уравнением:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v^3, \quad (1)$$

Где  $\rho$  — плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>),  $A$  — площадь ометаемой поверхности ротора (м<sup>2</sup>), а  $v$  — скорость ветра (м/с). Однако на практике турбина способна отобрать лишь часть этой энергии, что определяется коэффициентом мощности  $C_p$  (предел Бетца):

$$P_w = C_p(\lambda, \beta) \cdot \frac{1}{2} \rho A v^3, \quad (2)$$

Здесь  $C_p$  зависит от быстроходности  $\lambda$  и угла установки лопастей  $\beta$ . Механическая мощность передается на вал генератора, где преобразуется в переменный ток, который затем выпрямляется и подается на сетевой инвертор.

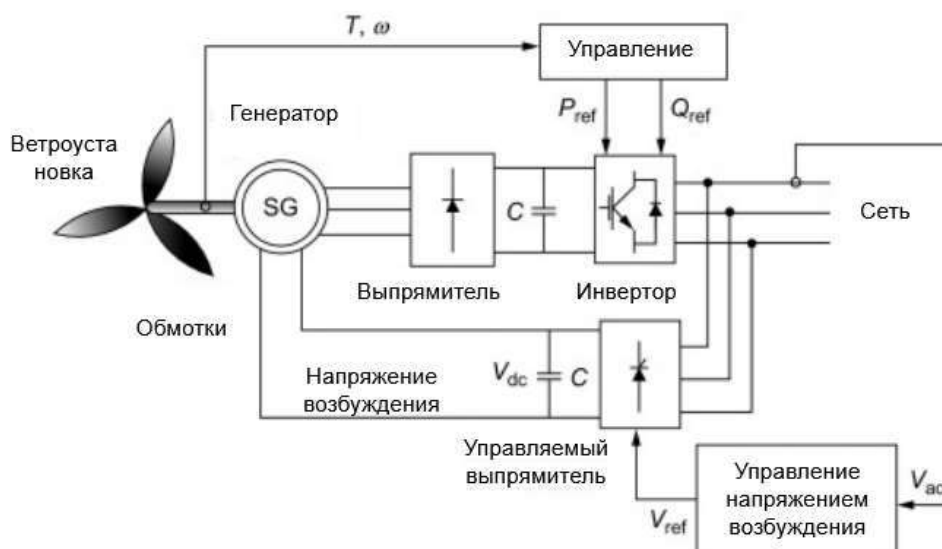


Рисунок 1. Функциональная схема ветроэнергетической установки

Для понимания контекста и места сетевого инвертора в полной системе преобразования энергии, на Рисунке 1 представлена обобщенная функциональная схема ветроэнергетической установки (ВЭУ) на основе синхронного генератора (СГ). Механическая энергия ветроустановки преобразуется генератором в переменный ток, который затем выпрямляется с помощью выпрямителя. Полученное постоянное напряжение сглаживается конденсатором звена постоянного тока (DC-link) и поступает на сетевой инвертор.

Как показано на Рис. 1, система управления функционирует на нескольких уровнях:

1. **Управление возбуждением:** Блок "Управление напряжением возбуждения" принимает ссылку  $V_{ref}$  и на основе обратной связи  $V_{ac}$  (или параметров сети) регулирует выход управляемого выпрямителя, подающего ток в обмотки возбуждения генератора. Это позволяет поддерживать требуемый уровень напряжения на выходе генератора перед звеном постоянного тока.

2. **Управление мощностью инвертора:** Блок "Управление" верхнего уровня обрабатывает данные о моменте  $T$  и частоте вращения  $\omega$  генератора и формирует уставки по активной ( $P_{ref}$ ) и реактивной ( $Q_{ref}$ ) мощности для инвертора. Сетевой инвертор является ключевым исполнительным элементом, преобразующим DC в AC и осуществляющим подачу энергии в сеть. Данная статья фокусируется именно на стратегиях управления этим блоком.

Для эффективного управления трехфазными переменными величинами в реальном времени используется аппарат векторного анализа. Основная сложность заключается в том, что в естественной системе координат токи и напряжения являются синусоидальными функциями времени, что делает классические ПИ-регуляторы неэффективными из-за неизбежной статической ошибки.

Переход в синхронно вращающуюся систему координат осуществляется в два этапа. Сначала применяется **преобразование Кларка** ( $abc \rightarrow \alpha\beta$ ), переводящее трехфазную систему в неподвижную декартову плоскость:

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -1,2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Затем используется **преобразование Парка** ( $\alpha\beta \rightarrow dq$ ), которое «привязывает» систему координат к вращающемуся вектору напряжения сети с углом  $\theta$ :

$$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix}, \quad (4)$$

Физический смысл данного перехода заключается в том, что в системе dq переменные величины при установившемся режиме становятся постоянными (DC-like). Это позволяет использовать классические методы линейного регулирования для независимого управления активной (ось d) и реактивной (ось q) мощностями [14].

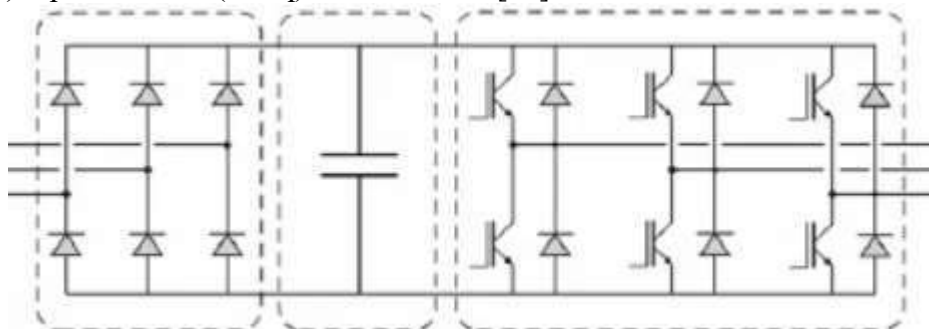


Рисунок 2. Силовой блок инвертора

На рисунке 2 показано, что весь силовой блок разделен на три ключевые части. **Первый этап** — это блок выпрямителя слева. Сюда заходит переменное напряжение из генератора, и с помощью шести диодов оно превращается в постоянное. **Второй этап** — это звено постоянного тока в центре. Этот конденсатор — не просто деталь, это накопитель энергии и фильтр. Он сглаживает пульсации после диодов, обеспечивая стабильное напряжение, которое нужно для работы всей системы управления. **Третий и самый важный этап** — это сам инвертор, блок справа. Он состоит из **6 силовых ключей (транзисторов IGBT)**. Именно ими управляется выходное напряжение и частота. Физика здесь в том, что ключи работают попарно в каждой фазе. Когда подается на них ШИМ-сигналы от контроллера, эти транзисторы начинают переключаться с огромной частотой.

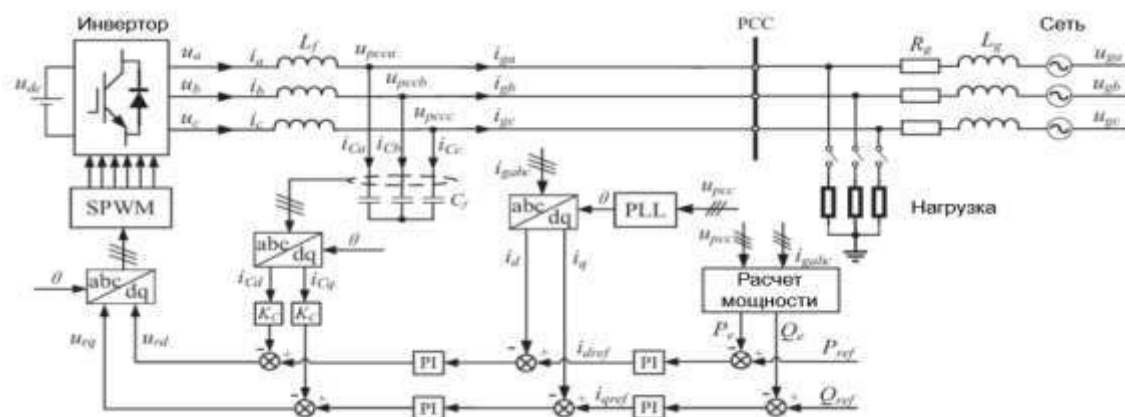


Рисунок 3. Следующих за сетью (Grid-Following, GFL) тип управления

На рисунке 3 представлена система векторного управления сетевым инвертором типа Grid-Following (GFL), которая преобразует постоянный ток в переменный для синхронной передачи в сеть. Все начинается с измерения трехфазного напряжения в точке подключения (PCC)  $u_{pcc\_abc}$ . Чтобы инвертор понимал частоту сети, блок PLL (Phase-Locked Loop)

вычисляет текущий угол фазы  $\theta$ . PLL подстраивает внутреннюю частоту  $\omega$  так, чтобы вектор напряжения по оси  $q$  стал равен нулю ( $u_q = 0$ ). Угол вычисляется как интеграл частоты:

$$\theta(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau + \theta_0, \quad (5)$$

Измеренные токи сети ( $i_{gabc}$ ) и напряжения ( $u_{pcc}$ ) переводятся из трехфазной системы ( $abc$ ) в двухфазную вращающуюся ( $dq$ ) с помощью **матрицы Парка**:

$$\begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin \theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}, \quad (6)$$

Теперь наши переменные синусоиды превратились в постоянные величины  $i_d$  и  $i_q$ , с которыми ПИ-регуляторы справляются без ошибок.

Блок «Расчет мощности» вычисляет фактическую активную ( $P_e$ ) и реактивную ( $Q_e$ ) мощность, которую инвертор отдает в сеть прямо сейчас:

$$\begin{aligned} P_e &= \frac{3}{2}(u_d i_d + u_q i_q) \\ Q_e &= \frac{3}{2}(u_q i_d - u_d i_q) \end{aligned} \quad (7)$$

Система сравнивает то, что мы имеем ( $P_e, Q_e$ ), с тем, что нам нужно ( $P_{ref}, Q_{ref}$ ). Ошибка подается на ПИ-регуляторы, которые формируют задание для тока:

$$\begin{aligned} i_{dref} &= K_{pP}(P_{ref} - P_e) + K_{iP} \int (P_{ref} - P_e) dt, \\ i_{qref} &= K_{pQ}(Q_{ref} - Q_e) + K_{iQ} \int (Q_{ref} - Q_e) dt \end{aligned} \quad (8)$$

В результате получаем требуемые значения токов  $i_{dref}$  (для активной части) и  $i_{qref}$  (для реактивной). Далее управление идет каскадно: внешний контур мощности рассчитывает нужные токи на основе ваших уставок, а внутренний контур тока формирует команды напряжения.

$$\begin{aligned} u'_d &= K_{pi}(i_{dref} - i_d) + K_{ii} \int (i_{dref} - i_d) dt, \\ u'_q &= K_{pi}(i_{qref} - i_q) + K_{ii} \int (i_{qref} - i_q) dt \end{aligned} \quad (9)$$

Чтобы подавить резонанс LC-фильтра, мы измеряем ток через конденсаторы ( $i_c$ ), переводим его в  $dq$  и вычитаем из сигнала управления с коэффициентом  $K_c$ :

$$\begin{aligned} u_{rd} &= u'_d - K_c \cdot i_{cd} \\ u_{rq} &= u'_q - K_c \cdot i_{cq} \end{aligned} \quad (10)$$

Полученные команды преобразуются обратно с  $dq$  координат в трехфазный вид ( $abc$ ) для ШИМ(SPWM).

$$\begin{bmatrix} u_{ra} \\ u_{rb} \\ u_{rc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \cos(\theta - \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta - \frac{2\pi}{3}) \\ \cos(\theta + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta + \frac{2\pi}{3}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{rd} \\ u_{rq} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

В финале эти команды преобразуются обратно в трехфазный вид и через блок ШИМ (SPWM) управляют переключениями транзисторов. В верхней силовой части транзисторы формируют импульсы напряжения, а LC-фильтр сглаживает их в чистую синусоиду.

#### Современные стратегий управления GFM-преобразователей

Однако с увеличением доли производство электроэнергии от возобновляющих источников энергии по сравнению с традиционными синхронными генераторами (СГ) приводит к тому, что сеть становится «слабой» (Weak Grid) — то есть чувствительной к любым изменениям тока. Так как в отличие от СГ, обладающих огромной физической инерцией вращающихся масс, инверторные установки являются малоинерционными. Для количественной оценки «силы» сети используется коэффициент короткого замыкания — Short Circuit Ratio (SCR):

$$SCR = \frac{S_{sc}}{P_n}, \quad (12)$$

где  $S_{sc}$  - мощность короткого замыкания в точке подключения (PCC),  $P_n$  - номинальная мощность инверторной установки [15].

Чтобы решить проблему нестабильности PLL в слабых сетях, инженеры разработали концепцию GFM инверторов. Если обычный инвертор (GFL) ведет себя как управляемый источник тока, который «идет за сетью», то GFM-инвертор ведет себя как управляемый источник напряжения (виртуальный синхронный генератор).

Существует несколько подходов к реализации GFM, сравнительный анализ которых приводится в работах [16] и [17]:

1. Droop Control. Это наиболее распространенный метод, имитирующий статическую характеристику синхронных генераторов. Инвертор изменяет частоту и напряжение в зависимости от нагрузки (Рисунок 4).

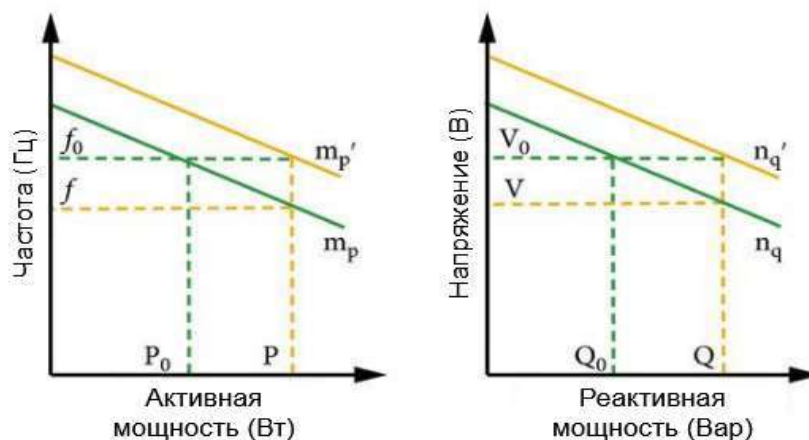


Рисунок 4. Зависимость частоты и напряжения

Система измеряет активную ( $P$ ) и реактивную ( $Q$ ) мощность. Коэффициенты статизма ( $m_p$  и  $n_q$ ) определяют, насколько сильно упадет частота или напряжение при росте нагрузки. Это позволяет нескольким инверторам параллельно распределять нагрузку без связи друг с другом.

$$\begin{aligned} f &= f_0 - m_p(P - P_0) \\ U &= U_0 - n_q(Q - Q_0)' \end{aligned} \quad (13)$$

2. Виртуальная синхронная машина (VSM/VSG). Этот метод идет дальше и имитирует не только статическое поведение, но и динамическую инерцию массивного ротора генератора. При резком изменении нагрузки в сети инвертор не меняет частоту мгновенно (как это делает GFL с PLL), а замедляется плавно, отдавая запасенную энергию конденсатора и поддерживая стабильность системы.

$$J\omega \frac{d\omega}{dt} = P_{in} - P_{out} - D(\omega - \omega_g), \quad (14)$$

В алгоритм закладывается виртуальный момент инерции ( $J$ ) и коэффициент демпфирования ( $D$ ).

3. Виртуальный осциллятор (Virtual Oscillator Control - VOC). Это нелинейный метод управления, основанный на эмуляции поведения осциллятора (например, Ван-дер-Поля). Здесь нет разделения на контуры тока и напряжения. Выходное напряжение инвертора является результатом работы нелинейного дифференциального уравнения. Основное преимущество — практически мгновенная синхронизация и высокая устойчивость в сетях с крайне низким SCR (слабых сетях).

$$\ddot{v} + \alpha(\vartheta^2 - \sigma)\dot{v} + \omega^2 v = \epsilon i_0, \quad (15)$$

#### Заключение

Подводя итог, можно утвердительно сказать, что технологический ландшафт энергетики претерпевает фундаментальную трансформацию. Ветровая энергетика, обогнав атомную генерацию по темпам роста мощностей, ставит перед инженерами задачу компенсации утраченной механической инерции традиционных машин. Анализ показал, что классические GFL-инверторы с их зависимостью от PLL становятся фактором риска в сетях, где доля преобразователей превышает 50–60%. Переход к сетеобразующим концепциям (GFM) является необходимым условием для обеспечения устойчивости «слабых» энергосистем. Технологии виртуальных синхронных машин (VSM) и дроп-контроля (Droop Control) позволяют инверторам имитировать динамику вращающегося ротора, плавно отдавая энергию при возмущениях.

Будущее распределенной генерации лежит в плоскости интеграции предиктивного управления (MPC) и нейросетевых алгоритмов, способных в реальном времени подстраиваться под меняющийся импеданс сети.

Систематизация этих подходов позволяет не только решить текущие проблемы синхронизации, но и создать основу для полностью автономных и устойчивых микросетей будущего, где инверторы станут интеллектуальным «фундаментом» энергосистемы.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Ackermann T. Wind Power in Power Systems. Wiley, 2012.
2. World Wind Energy Association (WWEA). *Annual Wind Power Report 2025: A Watershed Moment for Global Energy*. Bonn, April 2026.
3. International Renewable Energy Agency (IRENA). *Renewable Capacity Highlights 2026*. Abu Dhabi, March 2026.
4. Arévalo, P.; Ramos, C.; Rocha, A. A Systematic Review of Grid-Forming Control Techniques for Modern Power Systems and Microgrids. *Energies* 2025, 18, 3888. <https://doi.org/10.3390/en18143888>
5. Tharwat, Abeer; Al Hasheem, M. Control Strategies in Wind Energy Systems: A Comprehensive Overview. *Future Engineering Journal*, 2025, Vol 5, Issue 2, p1.
6. Qaisar, M.W.; Fang, J. Grid-Forming Converters for Renewable Generation: A Comprehensive Review. *Energies* 2025, 18, 4565. <https://doi.org/10.3390/en18174565>
7. Le Li, Donghai Zhu, Xudong Zou, Jiabing Hu, Yong Kang, Josep M. Guerrero, Review of frequency regulation requirements for wind power plants in international grid codes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 187, 2023, 113731, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113731>.
8. Teodorescu R., Liserre M., Rodriguez P. *Grid Converters for Photovoltaic and Wind Power Systems*. Wiley, 2011.
9. Blaabjerg F., Teodorescu R., Liserre M. Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2006.
10. Arévalo, P.; Ramos, C.; Rocha, A. A Systematic Review of Grid-Forming Control Techniques for Modern Power Systems and Microgrids. *Energies* 2025, 18, 3888. <https://doi.org/10.3390/en18143888>.
11. Kaiyu Liu, Tao Qian, Wang Zhang, Shaohui Wu, Rushuai Han, Kai Hou, Zaijun Wu, Qinran Hu, Review on small-signal stability of multiple virtual synchronous generators, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 215, 2025, 115543, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115543>.
12. Alhasheem, M.; Abdelhakim, A.; Blaabjerg, F.; Mattavelli, P.; Davari, P. Model Predictive Control of Grid Forming Converters with Enhanced Power Quality. *Appl. Sci.* 2020, 10, 6390. <https://doi.org/10.3390/app10186390>.
13. Thongam, Jogendra & Ouhrouche, Mohand. (2011). MPPT Control Methods in Wind Energy Conversion Systems. 10.5772/21657.
14. Gui, Y., Wang, X., Blåbjerg, F., & Pan, D. (2019). Control of Grid-Connected Voltage-Source Converters: The Relationship between Direct-Power Control and Vector-Current Control. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 13(2), 31-40. Article 8744346. <https://doi.org/10.1109/MIE.2019.2898012>
15. Microgrid Stability Definitions, Analysis, and Modeling PREPARED BY THE IEEE PES Power System Dynamic Performance Committee IEEE PES Task Force on Microgrid Stability Analysis and Modeling
16. Gao, Xian, et al. "A Comparative Study of Grid-Following and Grid-Forming Control Schemes in Power Electronic-Based Power Systems." *Power Electronics and Drives*, vol. 8, no. 1, Wroclaw University of Science and Technology, 2023, pp. 1-20. <https://doi.org/10.2478/pead-2023-0001>.
17. Guzman, G.; Madrigal, M.; Melgoza-Vázquez, E. Grid-Forming Inverters for Frequency Support in Power Grids. *Electricity* 2025, 6, 65. <https://doi.org/10.3390/electricity6040065>

<https://doi.org/10.5281/zenodo.20187098>

## ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ МАҚСАТЫНДА «АЛЭС» АҚ ЖЭО 1 ӨНІМДІЛІК КӨРСЕТКІШТЕРІН ТАЛДАУ

**БҰХАРБЕК БЕКЖАН ОРАЛХАНҰЛЫ**

2 курс магистрі

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және телекоммуникация университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы, Қазақстан Республикасы

**АБИЛЬДИНОВА САУЛЕ КИАНБЕКОВНА,**

PhD, профессор

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және телекоммуникация университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамы, Алматы, Қазақстан Республикасы

**Аңдатпа:** Бұл мақалада «Алматы электр станциялары» АҚ құрамындағы ЖЭО-1 станциясының техникалық жай-күйі, негізгі жабдықтардың тозу деңгейі, энергия тиімділігін арттыру резервтері және жаңғырту арқылы өндірістік көрсеткіштерді жақсарту мүмкіндіктері қарастырылады. Зерттеудің негізгі өзегі қазандық агрегаттары мен ПТ-60-90/13 типті бу турбиналарының ұзақ мерзімді пайдаланылуы нәтижесінде қалыптасқан техникалық шектеулерді талдауға бағытталған. ЖЭО-1 Алматы қаласының электр және жылу энергиясымен қамтамасыз ету жүйесінде маңызды орын алады, сондықтан станция жабдықтарының сенімділігі тек өндірістік тиімділік мәселесі емес, қалалық инфрақұрылымның тұрақтылығына тікелей әсер ететін фактор ретінде бағаланады. Мақалада қазандықтардың нақты пайдалы әсер коэффициентінің жобалық деңгейден төмендеуі, түтін газдарымен кететін жылу шығындарының артуы, турбина ағын бөлігіндегі эрозиялық және коррозиялық тозу, бу тарату және басқару клапандарының техникалық жағдайы сияқты факторлар жүйелі түрде қарастырылады. Есептік көрсеткіштер бойынша қазандық ПӘК-і 0,87 деңгейінде, турбинаның ішкі салыстырмалы тиімділігі 0,78 шамасында, ал электр энергиясын өндіруге жұмсалатын меншікті отын шығыны 256 г ш.о./кВт-сағ деңгейінде қалыптасқан. Бұл мәндер станцияда жылу схемасын, бу тарату жүйесін және негізгі агрегаттарды жаңғырту қажеттігін дәлелдейді. Жаңғырту шаралары ретінде жоғары қысымды цилиндрді жетілдіру, айналмалы диафрагманы тығыздау, ЖҚЦ басқару клапандарын жаңарту, бу тарату жүйесін қалпына келтіру және жылу схемасын оңтайландыру бағыттары ұсынылады. Есептік талдау нәтижелері жаңғырту жүзеге асқан жағдайда ЖЭО тиімділігін 0,72-ден 0,82-ге дейін арттыруға, турбинаның ішкі салыстырмалы тиімділігін 0,78-ден 0,85-ке дейін өсіруге, электр энергиясын өндіруге жұмсалатын меншікті отын шығынын 256-дан 199 г ш.о./кВт-сағ дейін төмендетуге мүмкіндік беретінін көрсетеді. Сонымен қатар жылу желілеріндегі шығындарды 12-15%-дан 6-8%-ға дейін қысқарту станцияның отын-энергетикалық ресурстарды пайдалану сапасын жақсартуға ықпал етеді. Зерттеу нәтижелері ЖЭО-1 жаңғыртуының негізгі мәні тек ескі жабдықтарды ауыстырумен шектелмейтінін көрсетеді. Мұнда өндірістік сенімділікті арттыру, отын шығынын азайту, жылу жүктемесін тұрақтандыру, жөндеу шығындарын қысқарту және Алматы қаласының энергиямен жабдықтау қауіпсіздігін күшейту мәселелері біртұтас техникалық-экономикалық жүйе ретінде қарастырылады. Осы тұрғыдан алғанда, ЖЭО-1 жабдықтарын жаңғырту жаңа құрылысқа қарағанда салыстырмалы түрде тиімді шешім болып табылады, өйткені ол қолданыстағы инфрақұрылымды сақтай отырып, станцияның қуаттық, үнемділік және пайдалану көрсеткіштерін жақсартуға мүмкіндік береді.

***Түйін сөздер:** аралас жылу электр станциясы, қайта құру, тиімділік, жылу балансы, қазандық агрегаты, бу турбинасы, аудандық жылыту, отынның меншікті шығыны.*

## **Кіріспе**

Алматы қаласының энергия жүйесіндегі маңызды нысан — «АлЭС» АҚ ЖЭО-1 станциясының негізгі жабдықтары ұзақ уақыт бойы пайдаланылуда. Бүгінгі таңда жабдықтардың физикалық тозуы және энергия ресурстарының қымбаттауы станцияның өнімділік көрсеткіштерін талдап, оны жаңғыртуды талап етеді [1]. Жаңғырту — жаңа құрылысқа қарағанда экономикалық тұрғыдан тиімді және станцияның экологиялық сипаттамаларын жақсартуға мүмкіндік беретін стратегиялық қадам.

Қазақстанның электр станцияларында орнатылған жабдық өткен ғасырдың 60-70 жылдарындағы энергия машинақұрылысындағы білім деңгейіне сәйкес жобаланған, дайындалған және ұзақ

жұмыс істеу мерзіміне ие "АлЭС" АҚ ЖЭО-1 Алматы қаласындағы ең көне станция болып табылады, станция құрылысының басталуы өткен ғасырдың 30-жылдарында өтті. Жылу электр орталығын пайдалану 1935 жылдан басталды. Бүгінгі таңда станция Алматы қаласындағы "АлЭС" АҚ негізгі энергия өндіруші кешендерінің бірі болып табылады.

Электр станциясы тұтынушыларды екі түрлі өніммен – электр және жылу энергиясымен қамтамасыз етеді. Жылу энергиясы тұрмыстық ыстық су және қаланы жылыту үшін ыстық су түрінде шығарылады. Өнеркәсіптік кәсіпорындарға арналған бу тұтынушылардың жоқтығына байланысты берілмейді.

Осы жылу электр станциясымен байланысты негізгі мәселелер: Жөндеу және техникалық қызмет көрсету үшін елеулі шығындарды талап ететін негізгі жабдықтың моральдық және физикалық тозуы.

Жоғарыда аталған мәселенің негізінде осы дипломдық жұмыста келесі міндеттер қойылды:

- ЖЭО-1 жаңғырту нұсқаларын талдау;
- Қолайлы жанарту опциясын тандау.

## **ЖЭО-1 туралы жалпы мәлімет**

Алматы ОЭС (қазір ЖЭО-1 АлЭС) жобалау және құрылысы 1931 жылы басталды. Бірінші агрегаттың 1935 жылдың 25 қазанында өнеркәсіптік жүктемеге қойылды.

1935 жылы 1,8 млн. кВт \* сағ электр энергиясы өндірілді. Бүгінгі күн үшін – бұл станция жұмысының тәулік ішіндегі электр энергиясын өндіру, алайда Алматы үшін қырқыншы жылдардың ортасы үшін турбинаны іске қосу үлкен мерекеге айналды. [4]

1940 жылға үш қазандық және үш турбина орнатылды. Жалпы қуаты 10,5 МВт. 1946 жылға дейін тағы екі турбина және бір қазандық іске қосылды. Бұл жерде электр станциясы құрылысының бірінші кезегі аяқталды.

Екінші кезекте 1953-55 жж. қуаты 6,3 МВт № 6 ст. екі қазандық пен турбина құрастырылып, іске қосылды. Кеңейтудің үшінші және төртінші кезегі жылу тұтынуында электр энергиясын өндіру мәселесін шешеді. 1957 жылы орташа қысымдағы қазандық және АТ-12 жылуландыру турбинасы, қуаты 12 МВт. 1960-61 жылдары БКЗ-160-100 жоғары қысымды екі қазандық және өнеркәсіптік тұтынушыларға бу беретін турбина және Р-25-90/18 турбинасының су жылытқышына орнатылды және жұмысқа қосылды. 1960 жылы Алматы ОЭС Алматы ЖЭО болып өзгертілді. Алматы ЖЭО-дан алғаш рет жылу 1961 жылдың 4 тоқсанында жіберілді. Монтаждау 1966-67 жж. екі су жылытатын қазандықты Алматы ЖЭО кеңейтудің төртінші кезегін бітірді. [11]

Станцияны кеңейтудің бесінші кезегі Алматы қаласын дамытудың бас жоспарын ескере отырып жобаланған.

ЖЭО-да 1969 жылдан 1972 жылға дейін. суды жылыту және оны өнеркәсіптік тұтынушыларға жіберу үшін буды іріктейтін екі турбина орнатылған. БКЗ-160-100 төрт

қазандығы және ПТВМ-100 екі су жылытатын қазандығы 100 Гкал/сағ. 1976-79жж. тағы үш су жылытатын қазан іске қосылды.

2000 жылдың соңында ескірген тиімділігі аз жабдықтар жұмыстан шығарылды және бөлшектелді. Үш бу турбиасы - бір Р-25-90/18 және екі ПТ-60-90/13 қосынды қуаты 145 МВт, алты жоғары қысымды БКЗ-160-100 бу қазандықтары және 100 Гкал/сағ-тан 7 ПТВМ-100 су жылыту қазандықтары жұмыс істейді.

«АлЭС» АҚ ЖЭО-1 мысалында жабдықтарды жаңғыртудың (модернизациялаудың) негізгі себептерін бірнеше техникалық және экономикалық факторларға бөліп қарастыруға болады. Бұл себептер станцияның тиімділігін төмендетіп қана қоймай, қаланы энергиямен қамтамасыз ету сенімділігіне де қауіп төндіреді.

### **Көрсеткіштерді есептеу арқылы жаңғыртудың себептері**

#### **1. Жабдықтардың физикалық және моральдық тозуы**

ЖЭО-1-дегі негізгі жабдықтар (ТГМЕ-206 қазандықтары мен ПТ-60 турбиналары) 40-50 жылдан астам пайдаланылып келеді.

Металдың шаршауы: Қазандық трубалары мен барабандарындағы металдың тозуы апаттық жағдайлардың жиілеуіне әкеледі.

Моральдық ескіру: Қолданыстағы жабдықтар заманауи автоматтандырылған басқару жүйелерімен (ТП АБЖ) жабдықталмаған, бұл процестерді дәл реттеуге кедергі келтіреді.

#### **2. Төмен энергия тиімділігі**

Ескірген жабдықтар энергияны түрлендіру кезінде үлкен шығындарға жол береді:

Отын шығынының жоғарылығы: Станцияда 1 кВт·сағ электр энергиясын өндіруге 256 г шартты отын жұмсалады. Жаңғырту бұл көрсеткішті 199 г-ға дейін (22%-ға) азайтуға мүмкіндік береді.

ПӘК-тің төмендігі: Қазандықтардың ПӘК-і (0,87) мен турбиналардың ішкі ПӘК-і (0,78) заманауи деңгейден (0,92-0,95) едәуір артта қалып отыр.

#### **3. Жылу қуатының тапшылығы**

Алматы қаласының қарқынды құрылысы мен халық санының өсуі жылу энергиясына деген сұранысты арттырды:

Станцияның нақты қуаты (250 Гкал/сағ) мен қаланың қажеттілігі (320 Гкал/сағ) арасында 60-70 Гкал/сағ тапшылық бар.

Жаңғырту арқылы негізгі жабдықтардың өнімділігін арттыру бұл тапшылықты жабудың жалғыз тиімді жолы.

ЖЭО-1 жаңғыртуын жеке техникалық шаралар жиынтығы ретінде ғана қарастыру жеткіліксіз. Станциядағы негізгі мәселе бірнеше фактордың қатар әсер етуінен туындайды. Бір жағынан, қазандықтар мен турбиналардың ұзақ мерзімді пайдаланылуы жабдықтардың физикалық және моральдық тозуын күшейтеді. Екінші жағынан, қазандық ПӘК-інің 0,87 деңгейіне дейін төмендеуі, турбина тиімділігінің 0,78 шамасында болуы және меншікті отын шығынының 256 г ш.о./кВт·сағ деңгейінде сақталуы өндірістік циклдегі энергия жоғалтудың нақты белгісі болып табылады.

Осыған байланысты жаңғырту логикасы үш негізгі блок арқылы ашылады: қазіргі техникалық шектеулерді анықтау, сол шектеулерге сәйкес инженерлік шешімдерді таңдау және өндірістік нәтижені есептік көрсеткіштер арқылы бағалау. 1-суретте ЖЭО-1 жаңғыртуының осы логикалық байланысы көрсетілген.



1 – сурет. «АлЭС» АҚ ЖЭО-1 жаңғыртуының мазмұндық сызбасы

1-сурет ЖЭО-1 жаңғыртуының себеп-салдарлық құрылымын көрсетеді. Сызбада алдымен станцияның негізгі проблемалары берілген: жабдықтардың тозуы, энергия тиімділігінің төмендеуі және жылу қуатының тапшылығы. Бұл факторлар жаңғырту қажеттілігін негіздейді. Ұсынылған техникалық шешімдер қазандық агрегаттарын жетілдіруге, ПТ-60-90/13 турбинасын жаңартуға, бу тарату және басқару клапандарын қалпына келтіруге, сондай-ақ жылу схемасын оңтайландыруға бағытталған. Нәтижесінде ЖЭО тиімділігін арттыру, меншікті отын шығынын төмендету және энергиямен жабдықтау сенімділігін күшейту мүмкіндігі қалыптасады.

#### Көрсеткіштер бойынша анализ

Берілген техникалық мәтіннің қазақ тіліндегі нұсқасы:

Қазандық бөлмесі

Тұрақты күйдегі сынақтарға негізделген қазандық агрегаттарының нақты тиімділігі  $\eta_k = 0,87$  құрады, жобалық мәні  $0,92$  болды. Қазандықтың жылу жоғалту құрылымы келесідей болды: түтін газдарының шығыны  $q_2 = 11,0\%$ ; химиялық толық емес жанудан болатын шығындар  $q_3 = 1,0\%$ ; және сыртқы салқындатудан болатын шығындар  $q_5 = 1,0\%$ . Жалпы шығын  $13,0\%$  құрайды, бұл жобалық деңгейден  $5,5$  пайыздық пунктке жоғары.  $Q_2$  өсуінің негізгі себептері конвективті қыздыру беттерінің ластануы және регенеративті ауа жылытқыштарының дұрыс жұмыс істемеуі болды.

Төрт қазандықтың қазіргі жалпы бу қуаты  $824$  т/сағ жобалық қуатымен салыстырғанда  $760-780$  т/сағ құрайды. Диагностикалық нәтижелерге сәйкес, қуаттың төмендеуі ақаулары бар құбырлары бар қазандықтардың жоспарланған жүктеме шектеуіне байланысты.

Турбина бөлімі

Турбина ағын жолының ішкі салыстырмалы тиімділігі  $\eta$  оі жобалық мәні 0,84-тен нақты мәні 0,78-ге дейін төмендеді. Бұл ағын жолының тығыздағыштарындағы саңылаулардың 0,4–0,6 мм-ге артуына, жоғары қысымды бөлімдегі ротор мен бағыттаушы қалақтардың эрозиялық тозуына және төмен қысымды бөлімдегі қалақтардың коррозияға ұшырауына байланысты. Қосымша бу ағып кетуінен болатын шығындар турбинаның теориялық қуатының шамамен 6%-ын құрайды.

Біріккен жылу және қуат алу (БҚС) толық пайдаланылмайды: қыздыру алудың екі сатысының тек төменгісі, қысымы 0,05–0,25 МПа, үнемі қолданылады. Жоғарғы қыздыру алу (қысым 0,06–0,6 МПа) басқару клапандарының нашар жағдайына байланысты жұмыс істемейді.

Принциптік жылу схемасын есептеу

Қазандық қондырғысынан бу турбинаға беріледі, кеңейту кезінде пайдалы жұмыс жасайды да, содан кейін жылу алмастырғыш конденсаторға түседі, онда ол жылуды салқындатқыш суға жібереді. Негізгі конденсат конденсат сорғысы арқылы пайда болатын қысымның көмегімен төменгі қысымды жылытқыштардың регенеративті тобынан өтеді де, агрессивті газдардан тазарту үшін ауасыздандырғышқа түседі.

1 кесте - ПТ-60-90/13 турбоагрегатын іріктеу сипаттамалары

Іріктеу сатысы	Қыздырғыш	Қысым, МПа	Температура, °С
I	ЖҚЖ7	4,41 (45,0)	405
II	ЖҚЖ6	2,55 (26,0)	349
III	ЖҚЖ5	1,27 (13,0)	280
-	Деаэратор	0,59 (6,0)	210
IV	ТҚЖ4	0,39 (4,0)	176
V	ТҚЖ3	0,19 (2,1)	121
VI	ТҚЖ2	0,087 (0,9)	-
VII	ТҚЖ1	0,017 (0,172)	-

Біз жылу тізбегін (схемасын) бу мен судың берілген және нормативтік параметрлерін, сондай-ақ қосымшада ұсынылған параметрлерді ескере отырып, есептейміз. Жылу схемасын есептеу 4 режим үшін жүргізіледі: ең жоғары-қысқы, суық ай, орташа жылу және жазғы.

Біз 1 режимін есептейміз. Бастапқы деректер: – Бастапқы бу қысымы  $P_0 = 12,8$  МПа – Бастапқы бу температурасы = 553 оС – Будың соңғы қысымы  $P_k = 2,83$  кПа – Қоректік суды регенеративті қыздыру температурасы  $t_{пв} = 249$ оС – Регенеративті қыздыру сатыларының саны 6.

Жылу схемасын есептемес бұрын,  $h_s$  диаграммасындағы турбинадағы жұмыс сұйықтығын - буды кеңейту процесін құру керек.  $h_s$  диаграммасынан алынған параметрлер және су мен су буы кестелерінің деректері су мен бу параметрлерінің кестесін жасау үшін қолданылады (2.2-кестені қараңыз). Будың бастапқы параметрлері бойынша  $h_s$ -диаграммада:  $P_0$  и  $t_0$  бу қысымы мен температурасы  $h_0 = 3481,1$  кДж/кг энтальпиясы бар " 0 " нүктесін табамыз. Реттеуші клапандардағы қысымның жоғалуын ескере отырып, 5% энтальпиясы бар 0' нүктесін табады  $h'_0 = h_0 = 3481,1$  кДж/кг және қысымы  $P'_0 = 0,95 \cdot P_0 = 0,95 \cdot 12,8 = 12,16$  МПа 1, 6, 7 және К нүктелеріндегі бу энтальпиясының шамасы тиісінше анықталады:

$$h_1 = h_0 - \eta_{oi.1}(h_0 - h_1^{ад}) = 3481,054 - 0,803 * (3481,054 - 3162,7) = 3225,4 \text{ кДж/кг}$$

(3.10)

$$h_6 = h_1 - \eta_{oi.2}(h_1 - h_6^{ад}) = 3225,4 - 0,782 * (3225,4 - 2425,1) = 2599,56 \text{ кДж/кг}$$

(3.11)

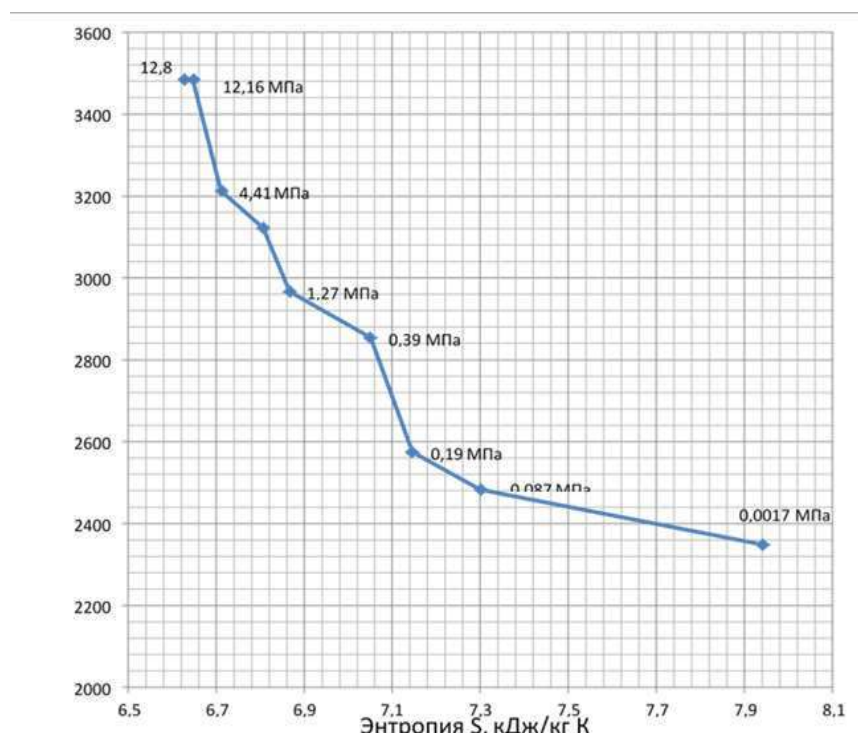
$$h_7 = h_6 - \eta_{oi.3}(h_6 - h_7^{ад}) = 2599,56 - 0,655 * (2599,56 - 2356,5) = 2440,36 \text{ кДж/кг}$$

(3.12)

$$h_k = h_7 - \eta_{oi.4}(h_7 - h_k^{ад}) = 2440,36 - 0,360 * (2440,36 - 2209,3) = 2357,2 \text{ кДж/кг}$$

(3.13)

Қалған нүктелерде энтальпия буын іздеу политропа 0-0'сызығының қиылысында жүзеге асырылады - 1-6-7-К және изобар сызығы, қысымға сәйкес келеді



2 – сурет. ПТ-60-90/13 турбоқондырғының жаңарту мақсаты

ПТ-60-90/13 типті турбиналарда ұзақ мерзімді пайдалану кезінде сенімділік тұрғысынан одан әрі пайдалануды шектейтін және турбоагрегат жұмысының тиімділігін төмендететін процестер жүреді:

- Жоғары температуралы аймақтардағы металдың қасиеттерінің төмендеуі;
- реттеу және бу тарату тораптарының тозуы; -цилиндрлердің тозуы;

- роторлардың, дискілердің, қалақтардың металының тозуы; -ағын бөлігінің тораптарының коррозиялық және эрозиялық тозуы;

-тығыздағыштардың тозуы

Осы типтегі турбиналардың көпшілігінде діріл күйінде елеулі проблемалар бар, бұл муфтадағы серіппелердің тозуымен және оның ригельдің бұралуынан туындайтын операциялық орталықтарға жоғары сезімталдығымен анықталады.

Сонымен қатар, 50-ші жылдардың ортасында осы турбиналардың конструкциясына енгізілген бірқатар техникалық шешімдер ескірген, бұл үнемділік тұрғысынан қарапайым жөндеу және қалпына келтіру жұмыстарын модернизациясыз жүргізу мүмкін емес.

Бұл жұмыс бағдарламасының мақсаты ПТ-60-90/13 турбинасының жұмыс ресурсын кемінде 200 мың сағатқа ұзартуға, сондай-ақ оның қуатын, үнемділігін, сенімділігі мен маневрлігін арттыруға мүмкіндік беретін ісшараларды енгізу болып табылады.

Турбинаны қайта құрудың екі тәсілі бар, олар парк ресурсын пайдаланған жоғары температуралы қондырғыларға қатысты техникалық шешімдермен ерекшеленеді: біріншісі-оларды толығымен ауыстыру, екіншісі - жаңарту немесе қалпына келтіру.

**Жоспар:**

- Жоғары қысымды цилиндрді жаңарту
- Жылу кестесі бойынша жұмыс кезінде Турбо қондырғының тиімділігін арттыратын айналмалы диафрагманы тығыздау
- ЖҚЦ басқару клапандарын жаңарту
- Клапандардың жұдырықшалы жетегі бар бу тарату жүйесін жаңғырту
- ЖҚЦ фланецтерін жылыту жүйесін қайта құру

**ҰСЫНЫЛҒАН ШЕШІМДЕРДІҢ ТИІМДІЛІГІН ЕСЕПТЕУ**

Жаңғыртудан кейін нақты пайдаланылатын электр қуаты 145-тен 185 МВт-қа дейін, ал жылу жүктемесі 1203-тен 950 Гкал/сағ-қа дейін артады.  $N_{el} = 185 \text{ МВт} = 171,97 \text{ Гкал/сағ}$  және  $Q_{жылу} = 950 \text{ Гкал/сағ}$  кезіндегі біріктірілген жылу электр станциясының тиімділігі:

$$Q_{отын,n} = (171,97 + 950) / \eta_{СНР,n} = 1122 / 0,82 = 1368,0 \text{ Гкал/сағ}$$

$$\eta_{СНР,n} = (171,97 + 950) / 1368 = 1122 / 1368 = 0,820$$

Жаңғыртудан кейінгі газ шығыны:

$$V_n = 1368 \cdot 000 \cdot 000 / 8500 = 59 \cdot 294 \approx 59 \cdot 300 \text{ м}^3/\text{сағ}$$

Электр энергиясын өндіруге арналған баламалы отынның меншікті шығыны:

$$V_{жылу,n} = 950 \cdot 000 \cdot 000 / (0,92 \times 8500) = 39 \cdot 643 \text{ м}^3/\text{сағ}$$

$$B_{елт,n} = 59,300 - 39,643 = 19,657 \text{ м}^3/\text{сағ}$$

$$b_{уд,n} = (19,657 \times 8500) / (200,000 \times 7,000) \times 1,000 = 199 \text{ г cf/кВт сағ}$$

Жаңғыртудан кейінгі қазандықтардағы жылу шығындары:

$$\Delta Q_{k,n} = (1 - 0,92) \times 1368,0 = 0,08 \times 1368,0 = 40,3 \text{ Гкал/сағ}$$

2-кесте - ЖЭО-нің жаңғыртуға дейінгі және кейінгі жұмыс параметрлерін салыстыру

Параметр	Жаңғыртуға дейін	Жаңғыртудан кейін
ЖЭО тиімділігі	0,72	0,82
Турбина ішкі салыстырмалы тиімділігі	0,78	0,85
Электр қуаты (нақты)	100	125
Жылу қуаты	145	185
Табиғи газ шығыны	55,0	59,3
Шығатын газ температурасы	168	140
Электр энергиясына арналған дәстүрлі отынның меншікті шығыны	256	199
Жылыту желілеріндегі жылу шығыны	12–15	6–8

### **Қорытынды**

Қорыта келгенде, бұл жаңғыртудың оң нәтижелері - турбинаның жұмыс ресурсы 200 000 сағаттан кем емес ұзартылады, жекелеген тораптардың және тұтастай алғанда турбинаның жұмысының сенімділігі неғұрлым жүктелген тораптар мен бөлшектерді ауыстыру немесе қалпына келтіру, жөндеу, түрлі жаңғыртуларды енгізу есебінен артады.

Турбоагрегаттың үнемділігі мен маневрлігі жақсарады. Турбинаны техникалық жай-күйі бойынша қызмет көрсетуге ауыстыру үшін алғышарттар жасалады (жоспарлы-алдын алу жөндеу жүйесінен бас тарту).

Турбоқондырғыны жаңа жабдықпен толық ауыстыру нұсқасымен салыстырғанда, жаңа тораптарды жеткізу көлемін азайту, іргетасты пысықтау қажеттілігінің болмауы және құрылыс-монтаждау жұмыстарының көлемін азайту есебінен күрделі шығындар екі еседен астам азаяды.

ПТ-60-90/13 типті турбиналарда ұзақ мерзімді пайдалану кезінде сенімділік тұрғысынан одан әрі пайдалануды шектейтін және турбоагрегат жұмысының тиімділігін төмендететін процестер жүреді, сол мақсатта бұл мақалада жоғары қысымды цилиндрді, айналмалы диафрагманы, ЖҚЦ басқару клапандарын, ЖҚЦ фланецтерін жылыту жүйесін жаңарту және жаңғырту жұмыстары жүргізілді.

### **ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ**

1. Қазақстан Республикасының «Энергия үнемдеу және энергия тиімділігін арттыру туралы» Заңы. – Астана, 2012 (өгерістер мен толықтыруларымен).
2. «Алматы электр станциялары» АҚ (АлЭС). ЖЭО-1 жабдықтарын пайдалану бойынша ішкі техникалық есептері мен паспорттық деректері (2020–2024 жж.).
3. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 9-шы басылым. – М.: МЭИ баспасы, 2018. – 472 б. (Жылуландыру және жылу желілері бойынша негізгі теориялық нұсқаулық).
4. Рихтер Л.А., Елизаров Д.П., Лавыгин В.М. Тепловые электрические станции. – М.: Энергоатомиздат, 1987. (ЖЭС-тегі жылу техникалық есептеулер әдістемесі).
5. Липов Ю.М., Третьяков Ю.М. Котельные установки и парогенераторы. – М.: Ижевск, 2003. (Қазандық агрегаттарының ПӘК-ін есептеу және жылу шығындарын талдау).
6. Байғалиев А.Б. Қазақстанның энергетикалық жүйесін жаңғырту және цифрландыру мәселелері // Жас ғалым журналы. – 2023. – №5. – 12-18 бб.
7. Трухний А.Д. Стационарные паровые турбины. – М.: Энергоатомиздат, 1990. (Турбиналардың ағынды бөлігінің тозуы мен тиімділігін талдау).
8. БКЗ-160-100 және ПТ-60-90/13 типті қондырғыларды пайдалану бойынша типтік нұсқаулықтар. – Энергия баспасы, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ CONTENT

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ TECHNICAL SCIENCES

<b>НАДИРОВ ТАМЕРЛАН АЛЬБЕРТОВИЧ, ЛАМАШЕВА Ж. Б. [АСТАНА, КАЗАХСТАН] АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ МЕТОДОМ ТЕОРИЕЙ ИГР В IT МЕНЕДЖМЕНТЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>PAŞAYEVA RAMİLƏ RZA [BAKI, AZƏRBAYCAN] TƏHSILIN KEYFIYYƏTININ ARTIRILMASINDA İKT-NIN ROLU.....</b>	<b>10</b>
<b>АСЫЛБЕК ЖӘНІБЕК ҚАНАТХАНҰЛЫ [АСТАНА, КАЗАХСТАН] РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ АНОМАЛИЙ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ.....</b>	<b>13</b>
<b>YUSIFOV MAARIF ZABIT OGLU, RƏŞİDOV NİYAZI ASİF OGLU [BAKI, AZƏRBAYCAN] BİNA VƏ QURĞULARIN TEXNİKİ MÜAYİNƏ ÜSULLARININ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏ İSTİQAMƏTLƏRİ.....</b>	<b>16</b>
<b>M.Z. YUSIFOV, N.A. RASHIDOV [BAKU, AZERBAIJAN] DIRECTIONS FOR IMPROVING METHODS OF TECHNICAL INSPECTION OF BUILDINGS AND EQUIPMENT.....</b>	<b>20</b>
<b>ДЖАНАБЕРГЕНОВ ЕРКЕН НУРГАЗИЕВИЧ [УРАЛЬСК, КАЗАХСТАН] ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ НЕФТИ ПО МАГИСТРАЛЬНЫМ ТРУБОПРОВОДАМ.....</b>	<b>23</b>
<b>ОРАЗГАЛИЕВ МАРС БОЛАТОВИЧ [УРАЛЬСК, КАЗАХСТАН] ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ОБОРУДОВАНИЯ ОТ АСФАЛЬТОСМОЛИСТЫХ И ПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ.....</b>	<b>29</b>
<b>АЛИБЕКОВА ГҮЛБАРЧЫН УЗАКБАЕВНА, ИМАТАЛИ КЫЗЫ АНАРА [ОШ, КЫРГЫЗСТАН] КОДСУЗ РОБОТОТЕХНИКА ПЛАТФОРМАЛАРЫ АРКЫЛУУ ЛОГИКАЛЫК ОЙ ЖҮГҮРТҮҮНҮ ӨНҮКТҮРҮҮ.....</b>	<b>35</b>
<b>БЕРІК НҰРАСЫЛ НҰРЛАНҰЛЫ, КАЗИМОВА Д.А. [ҚАРАҒАНДЫ, ҚАЗАҚСТАН] ҚОСЫМША БІЛІМ БЕРУ ЖҮЙЕСІНДЕ ЦИФРЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ПАЙДАЛАНУДЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ.....</b>	<b>41</b>
<b>MƏMMƏDOVA TAMILLA ABUSƏİD Q., NASIYEV RƏNƏ FƏRƏMƏZ Q., RÜSTƏMOVA FİDAN VƏHTIYAR Q. AZƏRBAYCAN DÖVLƏT NEFT VƏ SƏNAYE UNİVERSİTETİ.....</b>	<b>45</b>
<b>УБАЙДУЛЛАЕВ АЛИБЕК МАРЛЕНОВИЧ, КАСЕКЕЕВА А.Б. [АСТАНА, КАЗАХСТАН] ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ GOLANG И PYTHON.....</b>	<b>49</b>
<b>САБЗАЕВА АДИБА САИДҚУЛОВНА [ДУШАНБЕ, ТОҶИКИСТОН] ҶУМЛАҲОИ ПАЙРАВИ ХИЛОФИИ ИЛОВАГӢ ДАР «ӢДДОШТҲО» - И САӢНИӢ.....</b>	<b>58</b>
<b>БОЗЖАН ӘДІЛБЕК ЕРЖАНҰЛЫ, ҚАЛАМҒАЛИ АҚТІЛЕК, ХАМЗИНА БАЯН ЕЛЕМЕСОВНА [УРАЛЬСК, КАЗАХСТАН] ФАКТОРЫ И МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СЕРОВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВ В ПРОДУКЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ.....</b>	<b>65</b>

<b>KHURSHID ABDULLAEV [TASHKENT] MODELING THE EFFECT OF WIND ATTACK ANGLE ON SAND ACCUMULATION ON ROAD INFRASTRUCTURE.....</b>	<b>72</b>
<b>SEVINC ƏLƏKBƏR QIZI ŞABANOVA EKSPERT SISTEMLƏRININ PROLOQ DILINDƏ REALLAŞDIRILMASI: NƏZƏRIYYƏDƏN TƏCRÜBƏYƏ.....</b>	<b>77</b>
<b>АМАНЖОЛОВ КАЙРАТ ДОСМУХАНОВИЧ, К. МУСЛИМОВ [АЛМАТЫ, КАЗАХСТАН] ПЕРЕХОД ОТ GRID-FOLLOWING К GRID-FORMING: ТРАНСФОРМАЦИЯ СТРАТЕГИЙ УПРАВЛЕНИЯ СЕТЕВЫМИ ИНВЕРТОРАМИ В СОВРЕМЕННОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКЕ.....</b>	<b>82</b>
<b>БҰХАРБЕК БЕКЖАН ОРАЛХАНҰЛЫ, АБИЛЬДИНОВА САУЛЕ КИАНБЕКОВНА [АЛМАТЫ, ҚАЗАҚСТАН] ЭНЕРГИЯ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРУ МАҚСАТЫНДА «АЛЭС» АҚ ЖЭО 1 ӨНІМДІЛІК КӨРСЕТКІШТЕРІН ТАЛДАУ.....</b>	<b>90</b>

# ENDLESS LIGHT IN SCIENCE



**Контакт**



[irc-els@mail.ru](mailto:irc-els@mail.ru)

**Наш сайт**



[irc-els.com](http://irc-els.com)