



ENERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

POWER ENGINEERING PROBLEMS

ENERGETİKANIN KOMPLEKS PROBLEMLƏRİ * ELEKTROENERGETİKA * İSTİLİK ENERGETİKASI * İSTİLİK FİZİKASI *
ELEKTROFİZİKA * ELEKTROTEKNOLOGİYA * ENERJİ MƏNBƏLƏRİ * EKOLOGİYA * XRONİKA

КОМПЛЕКСНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ * ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА * ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА * ТЕПЛОФИЗИКА *
ЭЛЕКТРОФИЗИКА * ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ * ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ * ЭКОЛОГИЯ * ХРОНИКА *

COMPLEX PROBLEMS OF POWER ENGINEERING * THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING *
THE THERMAL POWER ENGINEERING * THERMOPHYSICS * ELECTROPHYSICS * ELECTROTECHNOLOGY *
ENERGY SOURCES * ECOLOGY * CHRONICLE

* DATA ANALİTİK VƏ SÜNİ İNTELLEKT *
* АНАЛИТИКА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ *
* DATA ANALYTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE *

1

2025

BAKİ ☆ ELM ☆ BAKU

ENERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

elmi – texniki jurnal

№ 1 2025

Jurnal 2000-ci ildə akademik Ç.M.Cuvarlı tərəfindən təsis edilib

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Rəyasət Heyətinin qərarı ilə çap olunur

Redaksiya heyəti

A. Həşimov (baş redaktor), N. Rəhmanov (baş redaktorun müavini), J. Bilbao (İspaniya), K. Dursun (Norveç), N. Bizon (Rumıniya), P. İlyuşin (Rusiya), A. Murakami (ABŞ), T. Nurubəyli (məsul katib və texniki redaktor), C. Taplamacıoğlu (Türkiyə), N. Tabatabai (Danimarka), N. Yusifbəyli, H. Quliyev, A. Babayeva, T. Xalina (Rusiya), R. Kəlbəliyev, R. Rəhmanov (İngiltərə), N Duich (Xorvatiya).

Redaksiyanın ünvanları: Bakı, Az-1143, H.Cavid prospekti,131, AR ETN Fizika İnstitutu,
Az-1602, H.Zərdabi prospekti, 94, Az.ET və LAEI

Tel.: (994 12) 538-16-60; 539-44-02

Faks: (994 12) 539-31-16

E – mail: a.hashimov@physics.science.az

Nəşrin redaktoru: F.Rzayev

“Energetikanın Problemləri” jurnalı Azərbaycan Respublikası Mətbuat və İnformasiya Nazirliyində qeydiyyatdan keçmişdir, qeydiyyat sayı B 507

Tiraj: 50 nüsxə

ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ

научно – технический журнал

№ 1 2025

Основан в 2000 году академиком Ч.М.Джуварлы

Печатается по постановлению Президиума Национальной Академии Наук Азербайджана

Главный редактор

академик НАН Азербайджана А.М. Гашимов

Адреса редакции: Az -1143, Баку, пр.Г.Джавида, 131, Институт Физики МНО АР
Az -1602, Баку, пр.Г.Зардаби, 94, АЗ.НИИПИИ Энергетики ОАО “Азерэнерджи”

Тел.: (994 12) (994 12) 538-16-60; 539-44-02

Факс: (994 12) 539-31-16

E-mail: a.hashimov@physics.science.az

POWER ENGINEERING PROBLEMS

Editor in chief Arif Hashimov

Editorial board

N. Rahmanov (deputy editor in chief), J. Bilbao (Spain), K. Dursun (Norway), N. Bizon (Romania), P. Ilushin (Russia), A Murakami (USA), T. Nurubeyli (executive secretary) Ch. Taplamachioglu (Turkey), N. Tabatabaei (Danmark), N. Yusifbeyli, H. Quliyev, A. Babayeva, T. Khalina (Russia), R. Kalbaliyev, R. Rahmanov (England), N. Duich (Croatia).

Published by the decision on the Presidium of the Azerbaijan National Academy of Sciences

International Scientific, technical and industrial journal. Published from September, 2000

DOI:10.70784/azip.5.2025103

ПРОБЛЕМА ЧАСТИЧНЫХ РАЗРЯДОВ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВАХ**НУРУБЕЙЛИ З.К., ИБРАГИМХАЛИЛОВ С.А.**

*Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности,
AZ-1010, проспект Азадлыг 34, Баку, Азербайджан
omartarana@gmail.com*

Статья посвящена современным технологиям диагностики частичных разрядов (ЧР) в высоковольтных распределительных устройствах (ВРУ), подчеркивая их важность для обеспечения надежности энергоснабжения. Рассматриваются методы Transient Earth Voltage (TEV) и Ultra High Frequency (UHF), которые позволяют эффективно выявлять ЧР на ранних стадиях, предотвращая аварии и продлевая срок службы оборудования. Обсуждаются проблемы и вызовы, с которыми сталкивается диагностика, такие как влияние внешних помех, наличие множества источников разрядов и ограничения традиционных методов. Приведены результаты полевых испытаний, подтверждающие эффективность интеграции TEV и UHF технологий. Статья также акцентирует внимание на практической значимости внедрения современных методов мониторинга для повышения надежности высоковольтных систем и снижения рисков аварийных ситуаций.

Ключевые слова. частичные разряды (ЧР), высоковольтные распределительные устройства (ВРУ), Переходное напряжение заземления (TEV), Сверхвысокая частота (UHF).

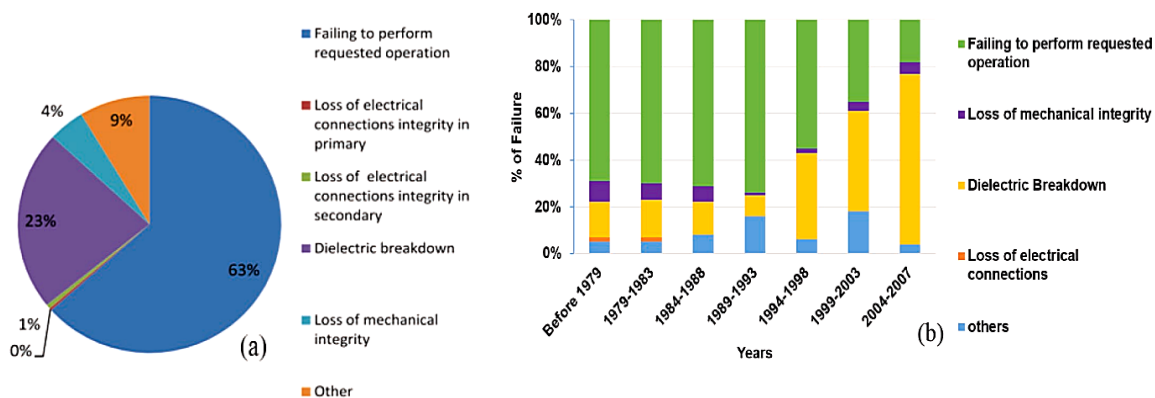
Введение. Высоковольтные распределительные устройства (ВРУ) играют ключевую роль в обеспечении надежной и стабильной работы энергосистем, от которых зависит бесперебойное энергоснабжение потребителей. Современные энергосистемы сталкиваются с множеством вызовов, связанными с ростом энергопотребления и возрастающими требованиями к надежности и безопасности эксплуатации оборудования. Увеличение нагрузки на электрические сети и внедрение новых технологий, таких как возобновляемые источники энергии, добавляют сложности в управление энергоснабжением.

Одной из ключевых угроз стабильной работы ВРУ являются электрические разряды, в частности частичные разряды (ЧР), которые могут вызывать отказ оборудования и приводить к аварийным ситуациям. Частичные разряды и коронные разряды приводят к деградации изоляции и последующим отказам в системах распределительных устройств. Хотя точные глобальные статистические данные об отказах из-за частичных разрядов и корон ограничены, доступные исследования показывают, что около 30–40% [1] отказов распределительных устройств связаны с проблемами изоляции, такими как трещины в изоляторах, плохие электрические контакты и загрязнение изоляционных компонентов. Например, в газоирированных распределительных устройствах (GIS) отказы в шинных каналах составляют около 30% инцидентов, часто происходящих вблизи разделителей, и часто обусловлены наличием частиц, которые прилипают к разделителям и вызывают частичные разряды [2].

Если взглянуть на цифры статистики складывается мнение будто феномен поломок, связанных с высоковольтными разрядами, приобрел серьезную значимость только с 1993 года. Однако это не объясняет факта резкого уменьшения значения “failing to perform requested operation” т.е. поломка описана как не удавшееся заданное действие [3].

Вся причина кроется в деталях экспертизы, если ранее не изученному феномену ЧР не придавали значения, то к концу 90-х заметно участились случаи отказа техники, которые спустя годы эксплуатации существенно потеряли в прочности изоляции. В

последствии изучения феномена ЧР все чаще становились ясны причины неисправностей.



Reproduced with permission from CIGRE.

Рис.1. Статистика по странам Евросоюза согласно отчетам, CIGRE отражающая соотношение причин возникновения перерывов в электроснабжении.

Эти цифры подчеркивают важность своевременного выявления и устранения дефектов, что позволяет предотвратить масштабные аварии и сбои в энергоснабжении. Частичные разряды представляют собой локализованные электрические разряды, возникающие внутри изоляции и указывающие на наличие дефектов. Несмотря на то, что ЧР не всегда приводят к мгновенным отказам, их игнорирование может вызвать постепенное разрушение изоляционных материалов, что в итоге приведет к полному отказу устройства.

Разнообразие факторов, вызывающих дефекты, делает диагностику особенно важной. Износ изоляционных материалов, накопление влаги, загрязнение и дефекты изготовления — все это может способствовать образованию частичных разрядов. Например, высокие температуры и высокие уровни влажности могут значительно снизить эффективность изоляции, что приводит к увеличению вероятности возникновения ЧР [4]. Это подчеркивает необходимость регулярного мониторинга состояния оборудования и оперативного реагирования на возникающие проблемы.

Своевременная диагностика ЧР имеет решающее значение для предотвращения отказов и продления срока службы оборудования. В последние годы активно развиваются методы мониторинга, такие как ультразвуковая диагностика [5], база данных pattern recognition [6] и анализ частотного спектра [7]. Эти технологии позволяют точно определить место возникновения частичных разрядов и оценить степень повреждений изоляционных материалов. Например, Система pattern recognition, способна распознавать ЧР среди прочих сигналов, а также природу полученного сигнала. Ультразвуковая диагностика позволяет обнаруживать высокочастотные звуки, которые возникают в результате ЧР, интенсивность которых дает возможность оперативно реагировать на потенциальные угрозы

Кроме того, анализ частотного спектра может выявить характерные изменения в поведении электрических систем параметров, указывающие на наличие дефектов. Использование этих технологий не только минимизирует риски аварий, но и значительно снижает затраты на обслуживание и ремонт. Явным примером является исследования, проведенные NASA которые сообщают о 8 до 12% сокращения затрат и от 25 до 30% уменьшения затрат на обслуживание с применением новых программ системы предиктивного обслуживания [8]. С применением систем онлайн-мониторинга позволяет не только обнаруживать ЧР, но и прогнозировать их развитие, что существенно улучшает управление надежностью энергосистем.

Таким образом, исследование частичных разрядов и методов их диагностики представляет собой актуальную и важную задачу для обеспечения стабильной работы

высоковольтных распределительных устройств. Понимание природы этих разрядов и своевременное реагирование на их появление могут существенно повысить надежность энергоснабжения и снизить экономические потери от аварий и простоев.

Технологии диагностики частичных разрядов в высоковольтных распределительных устройствах

Частичные разряды (ЧР) представляют собой критически важные индикаторы деградации изоляции в высоковольтных распределительных устройствах (ВРУ). Поскольку надежность энергоснабжения напрямую зависит от состояния этих устройств, своевременная диагностика ЧР становится неотъемлемой частью предотвращения аварий и продления срока службы оборудования [9]. Современные технологии мониторинга, такие как методы Transient Earth Voltage (TEV) и Ultra High Frequency (UHF), становятся основными инструментами для эффективной диагностики ЧР. Учитывая рост энергопотребления и усложнение энергосистем, необходимость в надежной диагностике становится более актуальной, чем когда-либо.

1. Проблемы и вызовы в диагностике частичных разрядов

1.2 Наличие внешних помех и шумов.

В реальных условиях эксплуатации высоковольтных систем электромагнитные и радиочастотные шумы могут маскировать сигналы частичных разрядов. Источники помех, такие как двигатели, трансформаторы, высокочастотные преобразователи частоты и индуктивные нагрузки создают значительное электромагнитное излучение, более того в городских условиях телекоммуникации и беспроводной интернет приводят к возникновению помех в устройствах поиска ЧР [10]. Эти факторы требуют использования сложных методов фильтрации несущих частот и подавления шумов. Например, для повышения точности диагностики могут использоваться адаптивные фильтры, которые выбирают на основе изучения частотных спектров, учитывают характеристики шума в определённых условиях [11].

1.3 Многочисленные источники разрядов.

В высоковольтных устройствах часто наблюдается наличие нескольких источников частичных разрядов. Это может быть вызвано различными факторами, такими как изоляционные дефекты, загрязнения или проблемы в соединениях. Множественные источники затрудняют точную локализацию разрядов, что делает диагностику более сложной задачей [12]. В GIS (газоизолированные распределительные устройства) разряды могут происходить в разных частях системы, и без точной локализации можно пропустить критически важные дефекты, что в дальнейшем может привести к серьезным авариям.

1.4 Ограниченная чувствительность традиционных методов

Традиционные методы диагностики, такие как измерение амплитуды и количества электрических импульсов, могут не обеспечивать необходимую чувствительность по отношению к малым разрядам. Например, некоторые методы могут обнаруживать разряды только выше определенного порога, пропуская более слабые, но потенциально опасные разряды склонные к тенденции быстрого развития интенсивности разряда [13]. Это требует применения более чувствительных технологий, таких как UHF и TEV, которые способны обнаруживать разряды на ранних стадиях их развития. Комбинация же этих технологий с применением ультразвуковых датчиков способны значительно увеличить шанс обнаружения разрядов низкой энергии.

1.5 Диагностика в сложных условиях эксплуатации

Сложные эксплуатационные условия, такие как повышенная влажность, экстремальные температуры или наличие загрязнений, могут существенно изменять поведение частичных разрядов. Не секрет что, повышенная влажность часто снижает

сопротивление изоляции, что ускоряет развитие ЧР [14]. Эти факторы создают дополнительные трудности для корректного обнаружения и требуют применения технологий, регистрирующих и компенсирующих переменные погодные условия. К примеру, для таких условий могут использоваться методы, основанные на знаниях свойств материалов, которые учитывают изменение электрических параметров под воздействием внешних факторов.

1.6 Интеграция современных технологий мониторинга

Тенденция интегрирования современных технологий, таких как искусственный интеллект (AI) и массивы данных (Big Data), с существующими системами долгосрочного мониторинга (Рис.2), представляет собой еще один вызов. Эти технологии автоматизируют процесс диагностики собирая данные с сенсоров, направляет полученные данные на сервер с библиотекой расширений для анализа данных и получения графиков и визуальной среды для оператора [15]. Дальнейшая сортировка посредством таблиц и pattern recognition библиотек, в заданных условиях способна прогнозировать возможные отказы на основе анализа объемов данных за предыдущие периоды, собранных с различных сенсоров (Рис.3). Самыми ранними проявлениями автоматизации и анализа являлось наличие у систем мониторинга механизма срабатывания тревоги при превышении заданного порога зарегистрированных импульсов с определенной амплитудой. Внедрение вышеупомянутых систем прогнозируемого мониторинга требует значительных изменений в существующих системах, что связано с высокими затратами и нуждой переподготовки специалистов. К тому же алгоритмы машинного обучения могут быть настроены для предсказания не только текущего состояния оборудования, но и поведения других оборудования, находящихся в похожих условиях [16].

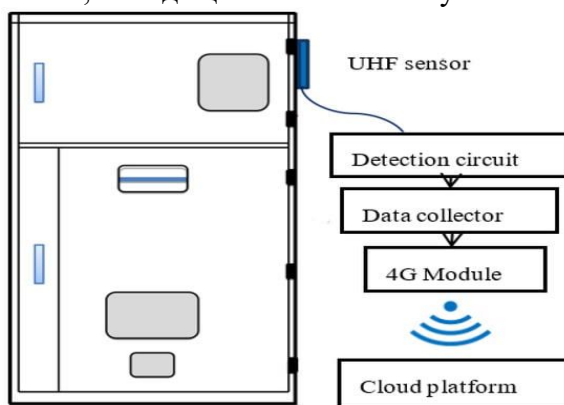


Рис.2. Пример работы современной системы мониторинга с дальнейшим перенаправлением собранных данных на облачное хранилище.

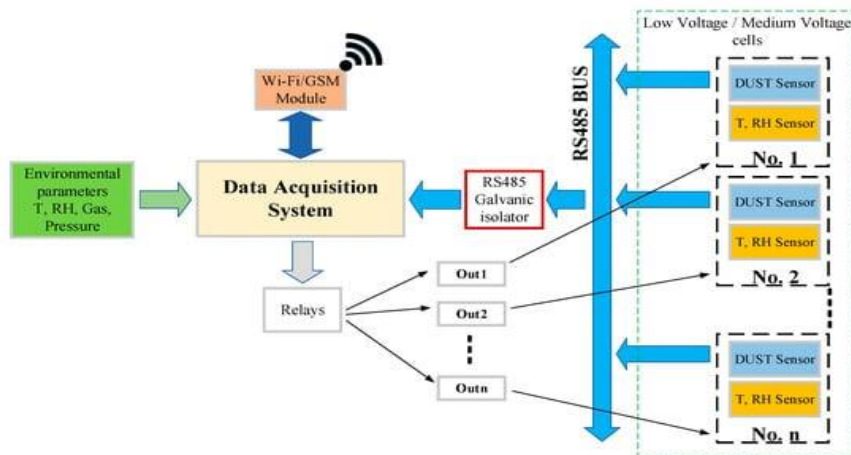


Рис.3. Топология работы современной системы мониторинга с подключенными сенсорами окружающей среды и сенсорами ЧР.

1.7 Интеграция методов TEV и UHF.

Интеграция методов TEV и UHF представляет собой значительный шаг вперед в проблемах повышении точности и предиктивности имеющейся диагностики ЧР. Синергия этих технологий позволяет получить полную картину распределения сигналов ЧР в определенных диапазонах частот соответственно представление о состоянии изоляции и способность выявления дефектов на более ранних стадиях. Однако это требует решения ряда технических проблем, связанных с обработкой больших объемов данных и синхронизацией измерений. Внедрение UHF модулей неминуемо влечет за собой применение более высокочастотных микросхем и процессоров [17], для обработки и оцифровки данных с нескольких сенсоров не редко требуются преобразующие процессоры гигагерцовых тактовых частот. Необходимость учитывать сложные механизмы взаимодействия сигналов с современными процессорами и оцифровки этих сигналов, поступающих с со всех каналов систем мониторинга, делает разработку новых алгоритмов обработки данных еще более актуальной.

2. Технологии диагностики

2.1 Переходное напряжение заземления (TEV)

Метод TEV основан на измерении всплесков переходных напряжений, возникающих при частичных разрядах во внутренних слоях изоляции высоковольтного оборудования. TEV-технология позволяет обнаруживать начальные стадии возникновения ЧР и минимальные дефекты, например, поверхностные разряды, еле заметные традиционным методам. Однако слабая помехозащищенность не редко влечет за собой получение мнимых ЧР сигналов, вызванных шумами от силовых полупроводниковых преобразователей. Таким образом применение TEV-технологий может снизить вероятность отказов оборудования до 50%, что подтверждается статистическими данными [18].

TEV-метод можно применять в различных сценариях, например, для диагностики трансформаторов, кабелей и распределительных устройств. Особенно эффективна в системах с многоуровневыми изоляциями, где обнаружение ранних дефектов может предотвратить более серьезные проблемы. Причина в том, что TEV технология обладает высокой чувствительностью, за счет широкой пропускной полосы частот что делает технологию особенно полезной для выявления высокочастотных сигналов малой мощности и всевозможных ЧР от дефектов вследствие неисправности к примеру: трещин на высоковольтных изоляторах. TEV-технология часто интегрирована в системы выявления ЧР, где TEV сенсоры повсеместно применяются в индустрии в современных системах мониторинга [19], что позволяет осуществлять непрерывный контроль за состоянием оборудования. За счет простоты и не требовательности к месту установки центрального узла системы, не высокими запросами к квалификации технического персонала устанавливающего систему мониторинга бесспорно является выигрышным решением. Так же, относительно легкая для изготовления конструкция сенсоров делает технологию крайне доступной.

2.2 Сверхвысокая частота (UHF)

Методы UHF используют сверхвысокие частоты для регистрации электромагнитных излучений, возникающих при частичных разрядах. Сенсоры этого типа являются высокочастотными и улавливают сигналы до полутора гигагерц. Имеют уникальные характеристики, которые делают их полезными для диагностики ЧР в сложных условиях с повышенной частотной загрязненностью. UHF-методы особенно эффективны для обнаружения частичных разрядов в газоизолированных распределительных устройствах и в высоковольтных трансформаторах, где традиционные методы могут оказаться менее результативными [20].

UHF-методы применяются для мониторинга состояния оборудования в реальном времени. Они позволяют не только обнаруживать дефекты, но и локализовать их с

высокой точностью. Это особенно важно для быстрого реагирования на возможные угрозы и предотвращения аварийных ситуаций. Например, в GIS системах со стороны производителей установлены специальные точки для установки UHF-датчиков, которые будучи размещены в ключевых точках дают максимальную эффективность в плане обнаружения ЧР.

3. Экспериментальные исследования

Полевые испытания на действующих высоковольтных распределительных устройствах показали высокую эффективность использования комбинации TEV и UHF технологий для диагностики ЧР. Исследования подтверждают, что применение TEV позволяет обнаруживать разряды с минимальной амплитудой, которые могут в последствии привести к более серьезным дефектам, если их не обнаружить на ранних стадиях. UHF-технологии ввиду своих характеристик, в свою очередь, помогают выделить нужные сигналы, при должной установке способны локализовать участки с ЧР и дают возможность оперативно принимать меры по ремонту и профилактике.

Примеры успешного применения

В ходе полевых испытаний на нескольких крупных энергетических объектах комбинация TEV и UHF показала улучшение точности диагностики и снижение количества аварий [20]. Исследования подтвердили, что раннее выявление частичных разрядов с использованием этих методов позволяет сократить время простоя оборудования и снизить затраты на его обслуживание.

4. Сравнение источников

Современные решения в сфере транспортных коммуникаций требуют наличие адекватных мер по мониторингу разрядов в их электрических частях в своих работах Zajadatz (2022) исследует возможности использования традиционных методов измерения ЧР при несинусоидальных формах напряжения, характерных для электрических транспортных средств. Исследование демонстрирует влияние формы и частоты приложенного напряжения на характеристики частичных разрядов. Особое внимание уделяется ограничениям и возможностям применения акустических, оптических и стандартных электрических методов измерений согласно IEC 60270. Данная работа предоставляет ценные рекомендации по диагностике ЧР в современных системах электропитания с высокочастотными импульсами [21].

Современные исследования факторов ЧР их развития направлены на определения и исследования интенсивностей сигналов ЧР из таких Yoshizumi и его коллеги (2017) изучают влияние заземления на измерение переходного напряжения земли (TEV), вызванного частичными разрядами. Исследование направлено на развитие технологий диагностики высоковольтного оборудования методом TEV. Основной вывод – заземление увеличивает интенсивность сигнала, а низкочастотные компоненты TEV проявляются только при наличии заземления. В отличие от работ Иванова и Полякова, эта статья ориентирована на экспериментальные исследования поведения TEV и его применение в диагностике [22].

Наряду с работами Yoshizumi, Biswas (2012) представляет альтернативную методологию идентификации и локализации источников частичных разрядов (ЧР) с использованием оптических сенсоров. Исследование фокусируется на экспериментальном подходе, где оптические датчики фиксируют излучение, вызванное ЧР, а алгоритмы машинного обучения (Gaussian Mixture Model и Support Vector Machine) используются для идентификации и локализации дефектов. Этот подход обладает преимуществом гальванической изоляции и высокой устойчивости к электромагнитным помехам, однако требует наличия оптической видимости дефектов, что ограничивает применение метода к оборудованию с прозрачной или частично прозрачной изоляцией [23].

Оптимизацию распространенного метода, исследуемого Khan (2018) предлагает алгоритм локализации ЧР в высоковольтных системах, основанный на измерении силы принятого сигнала (RSS), что позволяет обходиться без сложной синхронизации датчиков. Исследование включает экспериментальную проверку алгоритма на полевых испытаниях, демонстрируя высокую точность локализации по сравнению с другими алгоритмами (метод наименьших квадратов, метод поиска и соотношений). Основное преимущество этого метода — простота реализации и высокая точность без необходимости синхронизации времени между датчиками [24].

Ewaida et al. (2021) изучают метод локализации дефектов в среднем напряжении (MV) распределительных устройствах при помощи датчиков переходного напряжения земли (TEV). Исследование опирается на метод кумулятивной энергии (СЕМ) для точного определения момента прихода сигнала ЧР к датчикам. Результаты показывают высокую точность определения местоположения дефектов с погрешностью около 0.4 метра, что подтверждает эффективность подхода для диагностики распределительных устройств средней мощности [25].

Предыдущие работы по методам локализаций и их оптимизации требовали наличие должной обработки полученных данных где работы Полякова и Холмова (2022) сосредоточились на разработке алгоритмов обработки сигналов частичных разрядов. В их исследовании акцент сделан на анализ зарегистрированных электрических сигналов ЧР, расчёт их характеристик (например, кажущегося заряда) и построение амплитудно-фазовых диаграмм. Этот подход ориентирован на вычислительные методы обработки данных и разработку программного обеспечения для диагностики изоляции, что делает работу более прикладной по сравнению с исследованием Иванова [26].

Имитации и симуляции разрядов разных интенсивностей в работах Hoshino (2009) используют численное моделирование (FDTD метод) для анализа распространения электромагнитных волн, вызванных ЧР, в газоизолированных распределительных устройствах (GIS). Работа фокусируется на изучении ослабления сигнала и утечки электромагнитных волн через изоляторы и соединения в GIS. Исследование обеспечивает теоретическую основу для оценки и калибровки чувствительности ультравысокочастотных (UHF) датчиков, используемых при диагностике оборудования [27].

Yao (2013) разрабатывает и исследует ультравысокочастотную (UHF) фрактальную антенну для выявления ЧР в распределительных устройствах (switchgear). В исследовании особое внимание уделяется оптимизации расположения UHF-датчика для максимальной чувствительности при обнаружении ЧР. В результате моделирования и экспериментальной проверки определено оптимальное местоположение установки антенны, подтверждающее ее высокую эффективность для применения в мониторинге состояния высоковольтных распределительных устройств [28].

Ghosh и его команда (2021) рассматривают измерение ЧР и оценку срока службы изоляции оборудования под воздействием постоянного (DC) напряжения, особенно при переходных режимах и установившихся состояниях. Исследование демонстрирует влияние переходных процессов (например, инверсия полярности и включение оборудования) на уровень возникновения ЧР и показывает значительное сокращение срока службы изоляции при частых переходных процессах. Авторы разработали алгоритм автоматического распознавания ЧР, способный эффективно различать полезные сигналы от помех без участия экспертов, что делает его полезным для диагностики и оценки состояния высоковольтного оборудования под DC напряжением [29].

Снижение рисков аварий требуют глубоко понимания физики механизма и природы возникновения разрядов где в своих работах Morshuis и Smit (2005) проводят обзор механизмов возникновения частичных разрядов при постоянном напряжении (DC). В статье описаны основные физические процессы возникновения ЧР, отличия их проявления при DC и AC напряжениях, а также методы измерения и анализа ЧР в

оборудовании постоянного тока, таких как высоковольтные кабели постоянного тока (HVDC). В отличие от других исследований, здесь основное внимание уделяется фундаментальному механизму и физике явления ЧР, что делает работу ценной с точки зрения понимания принципов диагностики и анализа частичных разрядов при DC напряжении [30].

Иванов (2022) исследует электрофизические процессы и старение материалов высоковольтных изоляторов с целью диагностики их рабочего ресурса. В его работе анализируются характеристики частичных разрядов (ЧР) в диэлектрических полостях дефектов, применяются электромагнитные и акустические методы измерений. Основное внимание уделяется фундаментальным процессам возникновения и распространения ЧР, что закладывает теоретическую основу для мониторинга состояния изоляторов [31].

В конечном итоге мониторинг ЧР сводится к оценке состояния и необходимости предварительной замены деталей где в своих работах *Subramanian et al. (2021)* подробно анализируют методы оценки состояния и управления жизненным циклом высоковольтных распределительных устройств (switchgear). Авторы акцентируют внимание на практическом применении методов диагностики, статистике отказов и анализе частичных разрядов. Работа имеет практическую направленность и является руководством по выбору и применению различных методов оценки состояния распределительных устройств, включая анализ частичных разрядов, что является важной составляющей для обеспечения надежности оборудования [32].

4. Практическая значимость исследований

Результаты полевых испытаний подтверждают, что интеграция TEV и UHF технологий значительно повышает уровень безопасности и надежности эксплуатации высоковольтных устройств. Это позволяет энергетическим компаниям не только снизить риск аварийных ситуаций, но и сократить затраты на ремонт и обслуживание оборудования. Кроме того, применение современных методов мониторинга способствует уменьшению времени простоя оборудования, что имеет важное значение для финансовой устойчивости энергетических компаний.

Заключение

Проблема частичных разрядов в высоковольтных распределительных устройствах остается актуальной для энергосистем по всему миру. Развитие и внедрение технологий TEV и UHF открывает новые возможности для повышения надежности и безопасности работы оборудования. Для достижения наилучших результатов необходимо продолжить интеграцию этих технологий с внедрением современных систем обработки данных, что позволит качественно понимать воздействия частичных разрядов на определенное оборудование и улучшить алгоритм прогнозирования отказов. Таким образом, дальнейшие исследования и разработки в этой области оправданы тем, что они активно помогают существенному снижению рисков аварий, остановки и дальнейшего отказа оборудования, продлить срок его службы и обеспечить стабильное энергоснабжение.

-
1. CIGRÉ Technical Brochure 580. (2014). Failure Survey on High Voltage Equipment.
 2. Zhou, Y., Wang, L., & Shi, Y. (2019). Analysis of partial discharge caused by metallic particles in GIS. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 26(4), 1235–1242.
 3. CIGRÉ WG A3.06. (2007). Final Report on the Reliability of High Voltage Circuit Breakers. CIGRÉ.
 4. Wang, Y., & Zhang, X. (2016). Effects of humidity on electrical insulation performance. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 31(3), 1245–1253.
 5. Koch, M. (2010). Application of ultrasonic methods in partial discharge detection. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 26(3), 20–25.

6. *Yan, J., & Li, F.* (2017). Pattern recognition techniques for partial discharge classification. *Electric Power Systems Research*, 145, 221–230.
7. *Ma, X., & Zhang, H.* (2015). Frequency spectrum analysis of partial discharge signals. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 22(2), 880–888.
8. *Sullivan, G.P., Pugh, R., Melendez, P., & Hunt, W.D.* (2010). *Operations and Maintenance Best Practices: A Guide to Achieving Operational Efficiency*. National Technical Information Service.
9. *Smith, J.A.* (2018). *Electrical Discharge Phenomena in Power Systems*. London: Springer.
10. *Sharma, P., & Chen, M.* (2019). Electromagnetic interference in partial discharge measurements: sources and mitigation. *IEEE Access*, 7, 98459–98469.
11. *Liu, B., & Wang, J.* (2020). High-speed digital signal processing for partial discharge diagnostics. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 69(12), 9242–9251.
12. *Subramanian, S., Rao, A., & Joshi, P.* (2021). Multi-source discharge localization in GIS. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36(1), 11–20.
13. *Stone, G.C., & Boggs, S.A.* (2004). *Partial Discharge Detection in High Voltage Equipment: UHF Techniques*. Wiley.
14. *Brown, J.L.* (2017). Impact of environmental conditions on partial discharge detection. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 24(6), 3774–3781.
15. *Xuwen, Y., Chen, C., Chen, Z., Lei, B., & Wenwen, Z.* (2020). On-Line Partial Discharge Monitoring System for Switchgears Based on the Detection of UHF Signals. *IEEE Access*, 8, 100432–100443.
16. *Singh, R., & Kapoor, A.* (2020). Integration of TEV sensors in online monitoring systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 117, 105637.
17. *Zheng, Z., Li, J., & Huang, X.* (2020). UHF Sensor Development for Partial Discharge Detection in GIS: Experimental Analysis. *IEEE Transactions on Power Systems*, 35(5), 2401–2410.
18. *Davies, P.H.* (2018). *Advancements in Transient Earth Voltage Technology for Electrical Discharge Monitoring*. IET Press.
19. *Zhang, Y., Li, M., & Wang, H.* (2019). Monitoring Partial Discharges Using UHF and TEV Methods. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 34(2), 450–460.
20. *Xiang, Y., Wang, M., & Zhou, L.* (2021). Combining TEV and UHF Technologies for Improved Partial Discharge Detection. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 28(2), 789–798.
21. *Zajadatz, T., Kahl, B., & Moser, A.* (2022). Challenges of partial discharge diagnostics under non-sinusoidal voltage conditions. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 29(4), 1234–1243.
22. *Yoshizumi, T., Tanaka, H., & Fujimoto, T.* (2017). Effect of grounding on TEV signal behavior caused by PD. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 33(5), 20–27.
23. *Biswas, A., et al.* (2012). Optical sensor-based partial discharge detection using GMM and SVM. *IEEE Sensors Journal*, 12(6), 1891–1898.
24. *Khan, H.A., et al.* (2018). RSS-based partial discharge localization in high-voltage switchgear. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 25(5), 1682–1689.
25. *Ewaida, M., et al.* (2021). Cumulative energy method for partial discharge localization in MV switchgear. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 36(4), 3127–3135.
26. *Polyakov, I., & Kholmov, M.* (2022). Signal processing techniques for partial discharge diagnostics. *Journal of Electrical Engineering & Automation*, 10(2), 45–52.
27. *Hoshino, T., et al.* (2009). FDTD modeling of PD signal propagation in GIS. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 16(6), 1514–1522.

28. Yao, J., et al. (2013). UHF fractal antenna design for switchgear PD detection. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 61(4), 1994–2001.
29. Ghosh, P., et al. (2021). Partial discharge behavior under DC voltage. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 28(5), 1622–1631.
30. Morshuis, P.H. F., & Smit, J.J. (2005). Partial discharges at DC voltage: Their mechanism, detection and analysis. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 12(2), 328–340.
31. Ivanov, I.P. (2022). Diagnostics of high-voltage insulators under aging. *Journal of Electrical Engineering and Diagnostics*, 11(1), 21–29.
32. Subramanian, S., et al. (2021). Life-cycle management and diagnostics for high-voltage switchgear. *Electric Power Systems Research*, 189, 106663.

YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ PAYLAYICI QURĞULARDA QİSMİ BOŞALMA PROBLEMLƏRİ

NURUBƏYLİ Z.K., İBRAHİMXƏLİLƏV S.A.

Məqalə yüksək gərginlikli paylayıcı qurğularda (YGPQ) qismi boşalmaların (QB) diaqnostikasının müasir texnologiyalarına həsr olunmuşdur və enerji təchizatının etibarlılığının təmin olunmasında bu texnologiyaların əhəmiyyətini vurğulayır. TEV (Keçici Yer Gərginliyi) və UHF (Ultra Yüksək Tezlik) metodlarının tətbiqi ilə QB-lərin erkən mərhələlərdə effektiv şəkildə aşkarlanması, qəzaların qarşısının alınması və avadanlığın xidmət müddətinin uzadılması mümkün olur. Diaqnostika zamanı üzləşilən problemlər və çağırışlar, o cümlədən xarici maneələrin təsiri, boşalma mənbələrinin çoxluğu və ənənəvi üsulların məhdudiyətləri müzakirə olunur. TEV və UHF texnologiyalarının inteqrasiyasının effektivliyini sübut edən sahə sınaqlarının nəticələri təqdim olunur. Məqalədə həmçinin müasir monitoring üsullarının tətbiqinin yüksək gərginlikli sistemlərin etibarlılığının artırılması və qəza risklərinin azaldılması baxımından praktik əhəmiyyəti xüsusi vurğulanır.

Açar sözlər: qismi boşalmalar (QB), yüksək gərginlikli paylayıcı qurğular (YGPQ), keçici yer gərginliyi (TEV), ultra yüksək tezlik (UHF).

THE PROBLEM OF PARTIAL DISCHARGES IN HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR

NURUBEYLI Z.K., IBRAHIMKHALILOV S.A.

This article is devoted to modern technologies for diagnosing partial discharges (PD) in high-voltage switchgear, emphasizing their importance in ensuring the reliability of power supply systems. The Transient Earth Voltage (TEV) and Ultra High Frequency (UHF) methods are considered, which enable effective early-stage detection of PD, thereby preventing failures and extending equipment service life. The paper discusses the challenges faced in PD diagnostics, including external interference, the presence of multiple discharge sources, and limitations of conventional techniques. Field test results are presented, confirming the effectiveness of integrating TEV and UHF technologies. The article also highlights the practical significance of implementing advanced monitoring methods to improve the reliability of high-voltage systems and reduce the risk of accidents.

Keywords: partial discharges (PD), high-voltage switchgear (HVS), transient earth voltage (TEV), ultra-high frequency (UHF).

DOI:10.70784/azip.5.2025113

**YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ ELEKTRİK VERİLİŞ HAVA XƏTLƏRİNİN
TORPAQLAMA MÜQAVİMƏTLƏRİNİN ÖLÇÜLMƏSİNİN YENİ FƏRQLİ ÜSULU****ZÖHRABOV A.E., HƏMİDOVA H.M., İSMAYILOVA Ş.İ.,VƏLİYEVA L.F.***Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti**Azadlıq prospekti, 20, Az1010**aris_zohrab@mail.ru**hamida.hamidova100@gmail.com**sukufe.ismayilova51@gmail.com**latifa.valiyeva92@gmail.com*

Modul, istilik, hidravlik, hibrid elektrik stansiyalarının (ESt), yüksək və ifrat yüksək gərginlikli elektrik veriliş hava və kabel xətlərinin (EVHX, EVKX) inkişafı, tikintisi, yenidən qurulması və istismara verilməsi, müasir elektrik yarımstansiyalarının (YSt) tikintisi, onların müxtəlif çeşidli avadanlıqlarının davamlılığının və təhlükəsiz istismarının təmin edilməsini tələb edir. Hazırda Elektrik Sistemlərinə (ES) ayrılan investisiyaların həcmindən asılı olmayaraq, onların tam yenidənqurulması ilə, köhnə YSt avadanlıqlarının qismən və ya tam dəyişdirilməsi və s. ilə enerji təchizatı sistemlərində qəzaların qarşısını almaq qeyri mümkündür. ES-də qəzaların tamamilə aradan qaldırılması mümkün olmasa da, onların sayının mümkün qədər azaldılması üçün SCADA-ölçü, nəzarət və idarə sistemlərinin yaradılması günün aktual məsələlərindən sayılır. ES-nin SCADA-ya qoşulmuş hər bir avadanlığının texniki durumu barədə məlumat real vaxt kəsiyində intellektual vericilər vasitəsilə informasiya mərkəzinə daxil edilir, emal olunur və idarə mexanizminin fəaliyyəti üçün qərar qəbul edilir. Beləliklə, ES-nin hər hansı bir avadanlığında normal texniki durumdan fərqlənən və qəzaya səbəb ola biləcək başqa bir rejim aşkar olunarsa, dərhal müvafiq qərar qəbul edilərək, qəzanın qarşısı alınır. Məqalədə, elmi sahədə ilk dəfə olaraq, müəlliflər EVHX-nin dayaqlarının torpaqlama müqavimətlərinin ölçülməsi üçün tətbiq olunan mövcud üsullardan tamamilə fərqlənən yeni üsul işləyib hazırlamışlar.

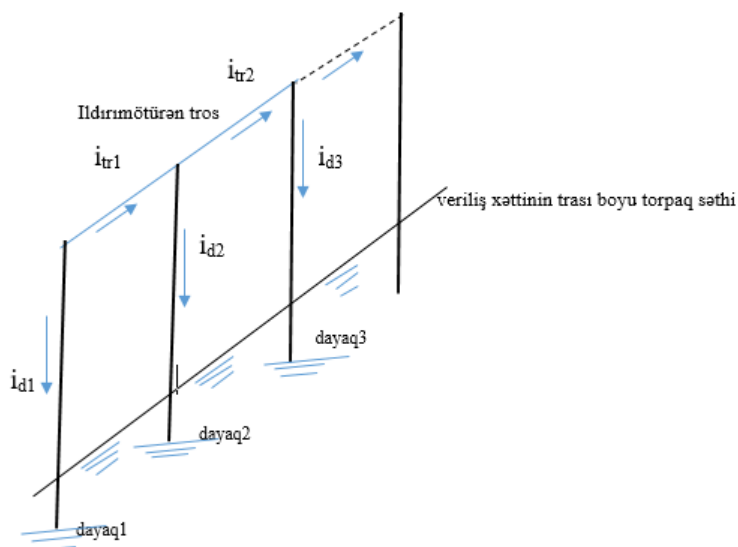
Açar sözlər: elektrik sistemi, hava elektrik xətti, torpaqlama sistemi, ildırımötürücü, torpaqlama müqavimətinin ölçülməsi, ildırımötürücülərdə və dayaqlarda induksiya olunan cərəyanlar.

İnkişaf etmiş Avropa ölkələrinin SCADA sisteminə qoşulmuş ES-nin əksər avadanlıqlarının fəaliyyət göstərməsi üçün yaradılmış ağıllı sistem demək olarki bu gün müvəffəqiyyətlə istismar olunur [1]. Lakin ES-nin mühüm elementlərindən biri sayılan EVHX-nin bütün istismar dövründə, onun müxtəlif rejimlərdəki bəzi parametrlərinin analoq siqnallara çevrilərək informasiya mərkəzinə ötürülməsi məsələsi elmi ədəbiyyatda rast gəlinmir. Belə parametrlərdən biri EVHX-nin dayaqlarının torpaqlama sistemlərinin torpaqlama müqavimətlərinin (TM) qiymətləridir. Bu məqalədə, müəlliflər elmi ədəbiyyatda ilk dəfə olaraq EVHX-nin istənilən rejimlərində, onların dayaqlarının torpaqlama müqavimətlərinin məlum üsullardan tamamilə fərqlənən yeni üsulla ölçülməsi təklif olunur. Ən əvvəl, göstərək ki, EVHX-nin dayaqlarının torpaqlama sistemləri (TS) necə yaradılır, onların müqavimətlərinin qiymətləri nə qədər olmalıdır və onlaq hansı klassik üsullarla ölçülür.

ES-nin yaradılmasında, onların normal rejimlərinin təşkil edilməsində mühüm rol oynayan EVHX-nin ifrat gərginliklərdən qorunmasını təmin edən TS-nin böyük əhəmiyyəti vardır. TS-nin olmaması və ya onların öz funksiyalarını bu və ya digər səbəblərdən yerinə yetirməməsi, EVHX-nin avadanlıqlarının izolyasiyasının pozulmasına, rele mühafizə qurğularının işdən imtina etməsinə və ya yanlış işləməsinə səbəb ola bilər. Odur ki, TS-nin layihə edilməsinə, onların montajına, istismar qaydalarının yerinə yetirilməsinə və etibarlılığına ciddi əhəmiyyət verilir. Məlumdur ki, torpaqlama sistemi EVHX-nin metal dirəklərinin metal gövdəsi və ya qeyri-metal dirəklərin gövdəsinə bərkidilmiş metal zolaq vasitəsilə torpaqlama sisteminə birləşdirilən ildırımötürən mühafizə trosundan ibarətdir. Təyinatına görə, EVHX-in torpaqlama sistemi istismar işçilərinin təhlükəsizliyini, yerlə qısa qapanma zamanı rele

mühafizəsinin işini, EVHX-in ifrat yüksək gərginlikdən qorunmasını, onun ildırımından etibarlı qorunması üçün ildırım cərəyanlarının yerə ötürülməsini təmin etməlidir. EVHX-nə 2 qonşu dayaqlar arası konturlardan ibarət olan qurğu kimi baxsaq, deyə bilərik ki, onun torpaqlama sistemləri vasitəsilə bu vəzifələrin yerinə yetirilməsi, ayrı-ayrılıqda, bu konturların yekun elektrik müqavimətlərinin qiymətindən asılıdır (şəkil 1). Şəkil 1-dən görünür ki, hər bir konturun yekun müqaviməti, baxılan konturu yaradan ildırımötürən trosun 2 dayaq arası hissəsinin müqavimətindən, 2 qonşu dayaqlar və onların torpaqlama sistemlərinin müqavimətlərindən və 2 qonşu dayaqlar arası torpaq qatının müqavimətindən asılıdır.

İldırımötürən trosun en kəşik sahəsi EVHX-nin bütün uzunluğu boyu dəyişmədiyindən, onun 2 qonşu dayaq arası hissəsinin müqaviməti trosun materialından, trosun en kəşik sahəsindən və dayaqlar arası məsafənin uzunluğundan asılıdır. Adətən, xüsusi sərt rejimli sahələrdə yerləşən EVHX-nin ildırımötürən trosları polad kanatlardan hazırlanır. Birdövrəli EVHX üçün kanatın en kəşik sahəsi 35 mm², digər rayonlar üçün isə 50mm² qəbul edilir. Lakin, əksər hallarda, ildırımötürən trosalar alüminium-polad materialından hazırlanıb, en kəşik sahələri 120 mm² -dən çox qəbul edilir [2]. Ümumi halda ildırımötürən trosun müqaviməti aşağıdakı məlun düsturla hesablanır: $R_{tr} = R_0 \cdot l$, $X_{tr} = X_0 \cdot l$ burada R_0 və X_0 - ildırımötürən trosun materialından asılı olan xüsusi aktiv və induktiv müqavimətidir, Om/m, l – ildırımötürən trosun EVHX-n 2 qonşu dayaqlar arası uzunluğudur.



Şək.1.EVHX-nin mühafizə torpaqlama sisteminin sxemi.

Nəzərə almaq lazımdır ki, qonşu dayaqlar arası məsafə EVHX –nin trasının keçdiyi ərazinin profilindən asılıdır. Yəni, xəttin trasının keçdiyi ərazinin səthi üfiqi düz sahə olarsa, onda qonşu dayaqlar arası məsafənin uzunluğu hər yerdə eyni olub, xəttin gərginliyindən asılı olacaqdır (cədvəl 1) [3].

EVHX-nin dayaqlar arası məsafə

cədvəl 1

EVHX-nin gərginliyi,kV	EVHX-nin dayaqları arası məsafə
0,4-1	40-50 m
10	80 m-dən yuxarı
35	200m-ə qədər
330	400m-ə qədər
500	450 m-ə qədər
750	700m

Lakin EVHX-nin trasının keçdiyi ərazinin səthi üfiqi düz olmazsa, onda dayaqlar arası məsafənin uzunluğu qonşu dayaqlar arasında müxtəlif olub, yer səthinin profilindən asılı olaraq xüsusi hesabat nəticəsində müəyyən edilir [4]. Nəhayət, qeyd edək ki, EVHX-nin dayaqlar arası məsafə yuxarıda göstərilən faktorlardan başqa, trasın keçdiyi rayonun küləyə və buzlaşmaya görə hansı iqlim rayonuna uyğun gəldiyindən də asılıdır [5].

EVHX-nin torpaqlama konturunu yaradan ikinci element-dayaqların torpaqlama sistemləridir. Dayaqların torpaqlama sistemləri, dayaqlarla yerin potensialını bərabərləşdirərək, hər hansı bir səbəbdən dayağa düşə biləcək yüksək gərginliyi yerə ötürməklə, işçi personalın təhlükəsizliyini təmin edir. EVHX-nin bütün uzunluğu boyu, dayaqlar vasitəsilə ildırımötürən trosun yerlə birləşdirilməsi nəticəsində yaranan konturlarda, dayaqların sayı qədər paralel birləşmiş budaqlar alınır (şəkil 1). Bu səbəbdən də, EVHX-n uzunluğundan asılı olmayaraq, ildırımötürən trosun yekun müqaviməti 50 Om-a qədər olur [6]. Digər tərəfdən, dayaqlardan birinin və ya bir neçəsinin torpaqlama müqavimətlərinin qiymətinin artaraq dəyişməsi, EVHX-n ildırımötürən trosunun da baxılan konturda müqavimətini artıraraq, onun EVHX-nin bu hissəsinin ildırımından qorumaq etibarlığını kəskin surətdə azaldır. Dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin artmasının səbəbi, onları havadan aqressiv yer qatına keçərək torpaqlama konturu ilə birləşdirən birləşdirici elementin korroziyaya uğraması nəticəsində en kəskin sahəsinin azalmasıdır. Aydındır ki, birləşdirici naqilin en kəskin sahəsinin azalması ilə dayağın yekun torpaqlama müqaviməti də artır. Odur ki, periodik olaraq EVHX-nin dayaqlarının TS-nin texniki vəziyyətini müəyyən etmək üçün, dayaqların torpaqlama müqaviməti ildə bir dəfə ölçülməlidir [7,11]. Hal-hazırda EVHX-n TS-n müqavimətlərinin ölçülməsi üçün, biri-bindən çox da fərqlənməyən və hər birinin böyük ölçmə xətalı olan aşağıdakı üsullardan istifadə edilir:

-Duayt formulu üsulu. Burada torpaqlama müqavimətinin qiyməti ölçü elektrodunun radiusundan, onun yer qatına basdırılma dərinliyindən və yer qatının orta xüsusi müqavimətindən asılı olaraq hesablanır;

-potensialın düşmə prinsipi üsulu;

-standart 3 naqili üsul (üsulun digər adı- 62% üsulu);

-iki nöqtəli üsul- ardıcıl qoşulmuş iki torpaqlama qurğusu üsulu;

-iki ampersancaq üsulu- ampersancaqlardan biri torpaqlama konturunda cərəyan yaradır, digəri isə bu cərəyanın qiymətini ölçür;

-Venner üsulu. Bu üsulla torpaqlama müqaviməti elektrodlar arası məsafənin və onların basdırılma dərinliyi arasındakı asılılıqla müəyyən olunur.

EVHX-nin dayaqlarının torpaqlama müqavimətlərinin yuxarıda göstərilən üsullarla ölçülməsinin nəticəsi olaraq, “Elektrik avadanlıqlarının qurulması” qaydaları, onların qiymətlərinin torpağın xüsusi müqavimətindən, dayağın hündürlüyündən, xəttin dövrlər sayından, xəttin ildırımından açılma sayından, xəttin dəniz səthindən hansı hündürlükdə olmasından, xəttin trasının yaşayış və ya qeyri- yaşayış sahəsindən keçməsindən asılı olan maksimal hədlərini müəyyən edir (Cədvəl 2) [8,12]:

EVHX-nin dayaqlarının torpaqlama müqavimətlərinin maksimal qiymətləri

Cədvəl2

Torpaq qatının ekvivalent müqaviməti Om/km	Dayağın torpaqlama müqavimətinin maksimal qiyməti,Om
100	10
100-500	15
500 -1000	20
1000 -5000	30
5000-dən yuxarı	6×10^{-3}

Dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin Cədvəl 2-də göstərilən qiymətləri, EVHX-n montajından sonra təhvil-təslim protokolu üçün hazırlanmış qiymətlərdir. Lakin EVHX-n bütün sonrakı istismar dövründə aydındır ki, bu qiymətlər dəyişəcəkdir. Yəni, dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin real qiymətlərinin tapılması üçün periodik olaraq, yuxarıda göstərilən ölçü üsullarının birinin vasitəsilə ölçü aparılmalıdır. Lakin, ölçü üsullarının xətalrı səbəbindən, xəttin keçdiyi ərazinin torpaq qatının tərkibinin tras boyu müxtəlif olduğu üçün onun müqavimətinin qiymətinin real qiymətindən fərqli olması səbəbindən və s. dayaqların torpaqlama müqavimətinin qiymətinin tapılması üçün aparılan ölçülərin nəticələrinin dəqiq olmayacağı qabaqcadan görünür. Elə buna görə də, EVHX-n ildırımından qorunma etibarlılığı tam təmin olunmayacaq. Çin Respublikasının tədqiqatçıların gəldiyi qənaətə görə, 500 kV-luq EVHX-n avadanlıqlarının ildırımından zədələnməsinin 84% səbəbi, dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin real qiymətlərinin tapılmasının qeyri-mümkün olduğu üçün, ildırımötürmə sisteminin düzgün qurulmamasıdır (Çin Cənub Ağillı Elektrik Şəbəkə Kompaniyasının Elektrik enerjisinin Elmi-Tədqiqat İnstitutu- China Southern Power Grid Electric Power Research Institute).

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə alaraq, bu məqalənin müəllifləri, EVHX-n TS-nin müqavimətlərinin ölçülməsini, mövcud ölçmə üsulları ilə deyil, onlardan tam fərqlənən yeni üsulla-faz cərəyanlarının maqnit sahələrinin ildırımötürən trosda induksiya etdiyi cərəyanların yaratdığı istiliyin ölçülməsi ilə müəyyən edirlər. Bu üsulla yuxarıda göstərilən ölçmələrin heç birinin aparılmasına ehtiyac qalmır. Yəni, EVHX-nin trosunun 2 qonşu dayaqlar arası hissələrinin istiliyini ölçməklə, dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin qiymətlərinin uzun istismar dövründə təhvil-təslim protokolundakı qiymətlərindən nə dərəcədə fərqləndiyini müəyyən edilir. Əgər, ölçmə nəticəsində məlum olsa ki, ildırımötürən trosun bu və ya digər 2 qonşu dayaq arası hissəsinin temperaturu, trosun yerdə qalan hissələrinin temperaturundan bu və ya digər şəkildə fərqlənir, deməli, bu o deməkdir ki, göstərilən 2 qonşu dayaqların birinin və ya hər ikisinin torpaqlama sisteminin hissələrinin korroziyaya uğraması səbəbindən müqaviməti artır. Belə olduqda, trosun fərqli temperaturu olan hissəsinin arasındakı dayaqların torpaqlama sisteminin korroziyaya uğramış hissəsi dəyişdirilərək, dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin qiymətləri yenə də təhvil-təslim protokolu səviyyəsinə çatdırılır. Beləliklə, EVHX-n bütün dayaqların torpaqlama sisteminin müqavimətlərinin ölçülməsinə ehtiyac qalmır. Göründüyü kimi, bu üsulun mərkəzində ildırımötürən trosun qızmasına səbəb olan induksiya cərəyanı dayanır.

EVHX-nin faz cərəyanlarının maqnit sahələrinin ildırımötürən trosunda induksiya etdiyi bu cərəyanların qiymətlərinin hansı parametrlərdən asılı olduğunu aydınlaşdıraraq. [9]-də 220 kV-luq ikidövrəli EVHX-nin faz cərəyanlarının yaratdığı yekun maqnit seli aşağıdakı formulla ifadə olunur:

$$\dot{\Phi}_X = \mu_0 \int_{y_{T2}}^{y_{T1}} H_X \int_0^{l_k} dz dy = \mu_0 l_k \int_{y_{T2}}^{y_{T1}} \dot{H}_X dy,$$

Burada $\dot{\Phi}_X$ - ildırımötürən trosun 2 dayaq arası hissəsini kəsən maqnit selinin üfüqi ox üzrə toplanandır. H_X - trosun həmin hissəsində üfüqi ox üzrə maqnit sahəsinin sahə gərginliyidir:

$$\dot{H}_X = \dot{H}_{XA_1} + \dot{H}_{XB_1} + \dot{H}_{XC_1} + \dot{H}_{XA_2} + \dot{H}_{XB_2} + \dot{H}_{XC_2}$$

Yekun $\dot{\Phi}_X$ maqnit selinin ildırımötürən trosda induksiya etdiyi e.h.q aşağıdakı formulla ifadə olunur:

$$\dot{E}_B = - \frac{\dot{\Phi}_X}{dt} = -j\omega\mu_0 l_k \int_{y_{T2}}^{y_{T1}} \dot{H}_X dy = E_B l_k.$$

Bu e.h.q-nin EVHX-nin ildırımötürən trosda yaratdığı cərəyan:

$$\dot{I}_k = \frac{\dot{E}_B}{R_{T1} + R_{T2} + jX_k}$$

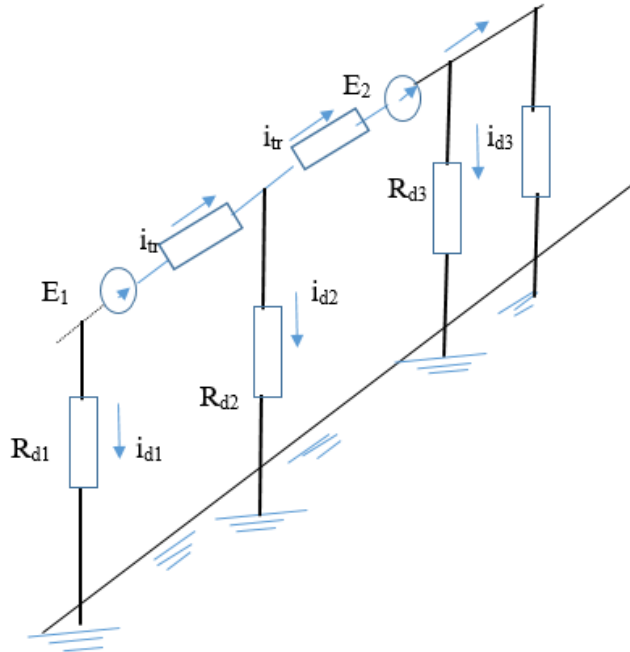
düsturu ilə ifadə olunacaq. Burada R_{T1} və R_{T2} trosun və dayağın torpaqlam aktiv müqavimətləri, X_k - trosun induktiv müqavimətidir. Alınan ifadələr üzrə ikidövrəli EVHX-nin ildırımötürən trosunun 2 dayaq arasında yerləşən hissəsində xəttin faz (yük) cərəyanlarının müxtəlif qiymətlərində (ES tam simmetrikdir) induksiyaalanmış e.h.q-nin və bu e.h.q-n təsirindən trosda axan cərəyanın qiymətləri cədvəl 3-də göstərilib [10].

220 kV-luq EVHX-nin faz cərəyanlarının müxtəlif qiymətlərində ildırımötürən trosda yaranan e.h.q və cərəyanların qiyməti cədvəli

Cədvəl 3

220 kV-luq EVHX-nin faz naqillərindəki cərəyan, A	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
İldırımötürən trosda induksiyaalanmış e.h.q, V	268.1	536.2	804	1072	1341	1609	1877	2145	2413	2681
İldırımötürən trosda yaranan induksiya cərəyanı, A	11	22	33.1	44.1	55.2	66.2	77.2	88.3	99.3	110.3

Şəkil 2-də EVHX-nin trasının keçdiyi yer səthinin tamamilə üfüqi olduğu şərt ilə yaradılmış model



Şək.2. EVHX-nin modeli.

Şəkildə 1-də hər bir dayaqdan torpaqlama sistemə axıdılan cərəyan i_d ilə, ildırımötürən trosun cərəyanı i_{tr} ilə işarə olunub. İdeal halda bütün dayaqların torpaqlama müqavimətləri

biri- birinə bərabər olduğunu qəbul etsək, dayaqlardan torpaqlama sisteminə axan i_d cərəyanlar eyni qiymətə malik olacaqlar və habelə, ildırımötürən trosun 2 qonşu dayaqlar aralıqlarındakı hissələrində də i_{tr} cərəyanlarının qiymətləri də bir- birinə bərabər olacaqdır.

$$i_{tr1} = i_{tr2} = i_{tr3} = \dots = i_{tri}$$

$$i_{d1} = i_{d2} = i_{d3} = \dots = i_{di}$$

Aydındır ki, ildırım ötürən trosun ayrı-ayrı 2 qonşu dayaqlar arasındakı cərəyanlarının qiymətlərinin bərabərliyi xəttin trasının keçdiyi iqlim şəraitinə uyğun olaraq ya eyni miqdarda və ya müxtəlif miqdarda istilik yaradacaqlar.

Buradan da görünür ki, həm dayaqların və həm də ildırımötürən trosun 2 qonşu dayaqlar arasındakı hissəsinin cərəyanlarının qiymətləri torpaqlama sisteminin ayrı-ayrı hissələrinin müqavimətlərindən asılıdır. Nəzəri və eksperimental tədqiqatlar göstərir ki, torpaqlama sisteminin ayrı-ayrı hissələrinin müqavimətləri, çoxsaylı bir-biri ilə əlaqəli və təsirləri çox vaxt təsadüfi olan amillərlə müəyyən olunur [11]. Bu amillərə aşağıdakılar daxildir:

- elektrik veriliş hava xəttinin keçdiyi sahənin qruntunun faktiki müqavimətinin ölçülməsində çətinliklərə səbəb olan ərazi və dərinlik üzrə torpağın heterojenliyi, habelə onun ölçü üsullarının qeyri-kafi dəqiqliyi;

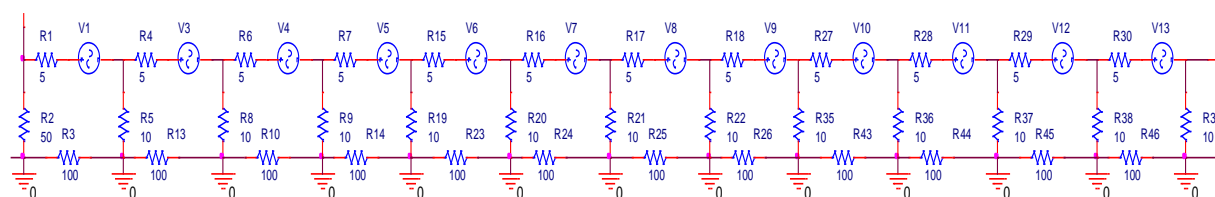
- dəyişən iqlim şəraiti (temperatur, təzyiq, rütubət) səbəbindən dayaqlar arası məsafədə cərəyan yolunun xarakterinin qeyri müəyyən olması, xəttin mürəkkəb torpaqlama konturunda cərəyanların hesablanması üsullarının yol verdiyi xətlər və sadələşdirmələr axtarılan cərəyanların qiymətlərinin real cərəyanlardan fərqli olması;

- impuls cərəyanları zamanı torpaqlama konturunun yaxınlığında torpaq sahələrinin torpaqlama müqavimətinin qiymətinin dəyişməsi;

- torpaqlamanın texniki vəziyyəti sabit qalmayıb, bir çox amillərlə müəyyən edilən korroziya prosesinin təsiri nəticəsində dəyişməsi.

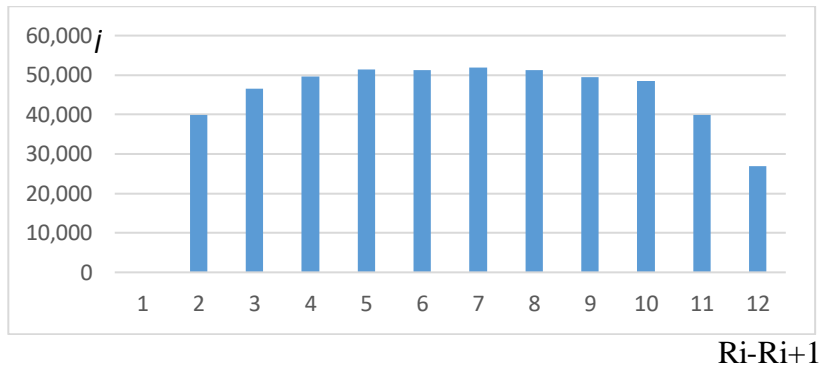
Buna görə də, EVHX-nin dayaqlarının torpaqlama konturların ayrı-ayrı hissələrinin müqavimətlərinin ölçülməsi və hesablanması yuxarıda göstərilən səbəblərdən mürəkkəb proses olub, alınan nəticələr heç vaxt reallığı əks etdirmir. Odur ki, bu məqalənin müəllifləri EVHX-nin dayaqlarının torpaqlama konturlarının müqavimətlərinin və hətta ildırımötürən trosun ayrı-ayrı hissələrindəki cərəyanların qiymətlərinin ölçülməsi əvəzinə bu cərəyanların yaratdığı istiliyin ölçülməsini təklif edirlər.

Yuxarıda göstərilən fikirlərin təsdiqi üçün Şəkil 2-də göstərilən sxemin OrCAD proqramında yığılmış hesabat sxemi (şək.3) üzrə bir sıra hesablar aparılıb.



Şək.3.EVHX-nin hesabat sxemi.

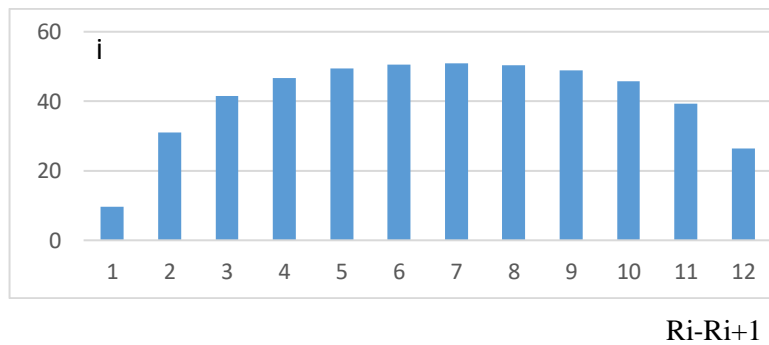
Sxem 3-də EVHX-nin trasının ideal şəraitə malik olan sahədən keçdiyi bir hissəsinin hesabat modeli verilib. Belə ki, hesab edilir ki, bütün dayaqların (onların sayı 13-dür) torpaqlama müqavimətləri, iki qonşu dayaqlar arası ildırımötürən trosun hissələrinin müqavimətləri, bu hissələrdə induksiya olunan ehq-n qiymətləri və eləcə də, trasın bu hissəsinin iqlim şəraiti də eynidir. Göstərilən ilkin şərtlər daxilində OrCAD proqramı vasitəsilə şək.3 verilmiş sxemin rejimini hesablayaraq, ildırımötürən trosun qonşu dayaqlar arası hissəsində cərəyanların qiymətlərini tapırıq. Hesabatın nəticələri şəkil 4-də sütunlar şəklində göstərilib.



Şək.4.EVHX-nin ildırımötürən trosunun iki qonşu dayaqlar arasındakı hissələrində ideal sahə üçün alınan cərəyanların qrafiki.

Qrafikdən görünür ki, ildırımötürən trosun dayaqlar arası hissələrində cərəyanlarının qiymətləri (28-51) A intervalında dəyişir. Deməli bu cərəyanların yaratdığı istilik nəticəsində ildırımötürən trosun dayaqlar arası hissələrinin temperaturu da biri- birindən çox fərqlənməyəcək.

Növbəti hesabatda fərz edirik ki, 1-ci dayağın torpaqlama müqaviməti bu və ya digər səbəbdən 5 Omdan dəyişərək 50 Om olub. Hesabat nəticəsi şəkil 5-də verilib.



Şək.15. EVHX-nin 1-ci dayağının torpaqlama müqavimətinin dəyişdiyi sahə üçün alınan cərəyanların qrafiki.

Buradan görünür ki, birinci və ikinci dayaqlar arası ildırımötürən trosun cərəyanının qiyməti digər cərəyanlardan kəskin fərqlənir(şək.5, 1-ci sütun). Deməli, trosun bu hissəsinin temperaturu da digər aralıqlardakı hissələrin temperaturundan fərqlənəcək. Məqalədə təklif olunan üsulun əsasını EVHX-in trası boyu qonşu dayaqlar arası ildırımötürən trosun hissələrinin temperaturunun ölçülməsi nəticəsində dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin təhvil-təslim aktında göstərilmiş qiymətləri ilə müqayisəsi təşkil edir. Yuxarıda göstərdiyimiz misalda olduğu kimi, əgər hər hansı iki dayaq arası ildırımötürən trosun hissəsinin temperaturu digərlərindən kəskin fərqlənərsə, deməli bu iki qonşu dayaqdan birinin və ya hər ikisinin torpaqlama müqaviməti pozulub. Deməli EVHX-nin yüzlərlə dayaqlarının torpaqlama müqavimətlərinin ölçülməsinin çətinliyini, ölçü vaxtı buraxıla bilən xətalara və s. nəzərə alsaq, təklif olunan üsulun üstünlüyünü aydın görürük.

Təklif olunan üsulun geniş aprobeşiyasını Azərbaycan Respublikasının elektrik sisteminin mövcud xətlərindən birinin üzərində aparılmasını planlaşdırırıq. Nəticələi gələcək materiallarımızda əks etdirəcəyik.

NƏTİCƏ

1. EVHX-nin qəza nəticəsində açılmasının statistikasını göstərir ki, bu açılmaların böyük bir hissəsi ildırım vurma səbəbindən olur.

2. EVHX-nin ildırım vurmada n açılmasının səbəbi isə xəttin dayaqlarının torpaqlama müqavimətlərinin bu və ya digər səbəbdən pozulması nəticəsində ildırımötürən trosun yekun müqavimətinin artması olur.
3. EVHX-nin dayaqlarının ölçülməsi çox mürəkkəb bir proses olub çoxlu əmək və vaxt tələb edir.
4. Mövcud üsullarla dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin ölçülməsi böyük xətalər verdiyindən, ildırımötürən trosun müqavimətinin real qiymətinin tapılması qeyri mümkün olur.
5. Təklif olunan üsulun əsasını EVHX-in trası boyu qonşu dayaqlar arası ildırımötürən trosun hissələrinin temperaturunun ölçülməsi nəticəsində dayaqların torpaqlama müqavimətlərinin təhvil-təslim aktında göstərilmiş qiymətləri ilə müqayisəsi təşkil edir.
6. Əgər hər hansı iki dayaq arası ildırımötürən trosun hissəsinin temperaturu digərlərindən kəskin fərqlənərsə, deməli bu iki qonşu dayaqdan birinin və ya hər ikisinin torpaqlama müqaviməti pozulub.
7. EVHX-nin sayca yüzlərlə olan dayaqlarının torpaqlama müqavimətlərini ölçmək əvəzinə, ildırımötürən trosun temperaturu digər dayaq aralılarında ki hissələrindən kəskin fərqlənən hissəsini birləşdirən bir və ya iki dayağın torpaqlama müqavimətini ölçmək kifayət edir.

-
1. *Shahidehpour M. Smart Grid: A new paradigm for power delivery //IEEE Bucharest Power Tech, Bucharest, Romania, June 28-July 2, 2009. p.7.*
 2. *Jiang Zhenhua, Li Fangxing, Qiao Wei, Sun Hongbin, e.a. A vision of Smart Transmission Grid //IEEE PES General Meeting, Calgary, Canada, July 26-30, 2009, 5 p.*
 3. *Глушко С., Пухин С. Технологическая концепция Smart Grid - облик электроэнергетики будущего // Энергорынок. 2009. №11(71). с.68-72.*
 4. *Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ «Энергия», 2010. с.208.*
 5. *Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть -новое качество ЕЭС России // Энергоэксперт. 2009. №4. с.28-34.*
 6. *Chuang A., McGranaghan M. Function of local controller to coordinate distributed resources in a Smart Grid //IEEE PES General Meeting, Pittsburg, USA, July 20-24, 2008. p.6.*
 7. *McDonald J. Adaptive intelligent power systems: Active distribution networks //Energy Policy, 2008, Vol.36, p. 4346-4351.*
 8. *Mamo X., Mallet S., Coste Th., Grenard S. Distribution automation: The cornerstone for Smart Grid development strategy //IEEE PES General Meeting, Calgary, Canada, July 26-30, 2009. p.6.*
 9. *Кротков Е.А., Безменова Н.В., Щобак А.А. Математическая модель для определения эдс и тока, наведенных в контуре грозозащитного троса магнитными полями токов фаз ВЛЭП 220 кв. // Электроэнергетика, №16, 2022.*
 10. *Шовкопляс С.С. Способ предотвращения гололёдообразования на грозозащитных тросах воздушной линии электропередачи сверхвысокого напряжения наведенными токами без вывода ее из работы. // Энергетик. 2018. №8. с.13-20.*
 11. *Zöhrabov A.E. Elektrik sistemlərinin rejimləri və istismarı. ADNSU. 2020.*
 12. *“Elektrik və istilik enerjisi, habelə qaz təchizatı sahəsində nəzarətin həyata keçirilməsi Qaydası”nın təsdiq edilməsi haqqında” Azərbaycan Respublikası Prezidentinin 2018-ci il 16 iyul tarixli 204 nömrəli Fərmanı.*

АЛЬТЕРНАТИВНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

ЗОХРАБОВ А.Э., ГАМИДОВА Г.М., ИСМАЙЛОВА Ш.И., ВАЛИЕВА Л.Ф.

Современное развитие энергетической отрасли, включающее строительство, модернизацию и ввод в эксплуатацию различных типов электростанций (модульных, тепловых, гидравлических и гибридных), а также воздушных и кабельных линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения, требует системного подхода к обеспечению надёжности и безопасности функционирования всей инфраструктуры. Это касается и электрических подстанций, и их оборудования. Независимо от объёмов вложений в развитие электрических сетей, полностью исключить вероятность аварий невозможно, даже при капитальной модернизации объектов и замене устаревших узлов. Однако важной задачей остаётся минимизация числа неисправностей и сбоев, чего можно достичь путём внедрения автоматизированных систем мониторинга, управления и анализа, таких как SCADA. Интеграция интеллектуальных датчиков в элементы энергетических систем и их подключение к SCADA-системам позволяет в режиме реального времени получать данные о состоянии оборудования. Эта информация поступает в диспетчерские центры, где она оперативно анализируется, и на её основе принимаются решения, позволяющие предупредить развитие нештатных ситуаций. В данной работе представлена авторская разработка — инновационный метод определения сопротивления заземления опор ВЛЭП. Предложенный подход существенно отличается от существующих методик и ранее не описывался в научной литературе.

Ключевые слова: электрическая система, воздушная линия электропередачи, система заземления, молниеотвод, измерение сопротивления заземления, индуцированные токи в молниеотводах и опорах.

A NEW DIFFERENT METHOD FOR MEASURING GROUNDING RESISTANCE OF HIGH-VOLTAGE OVERHEAD POWER LINES

ZOHRABOV A.A., HAMIDOVA H.M., ISMAYILOVA SH.I., VALIYEVA L.F.

Development, construction, reconstruction and commissioning of modular, thermal, hydraulic, hybrid power plants (HPP), high and extra-high voltage overhead and cable lines (EHV, EHVCL), construction of modern electrical substations (ESS), their various types requires ensuring the durability and safe operation of their equipment. At present, it is impossible to prevent accidents in power supply systems by their complete reconstruction, partial or complete replacement of equipment at old substations, etc., regardless of the volume of investments directed to electrical systems (ES). Although it is impossible to completely eliminate accidents in Electrical Systems, the creation of SCADA systems for measuring, monitoring and control to minimize their number is considered one of the urgent tasks of our time. Information about the technical condition of each equipment of the Electrical Systems connected to SCADA is received by the information center through intelligent sensors in real time, processed and a decision is made on the operation of the control mechanism. Thus, when a different mode is detected in any equipment of the Electrical Systems, which differs from the normal technical condition and is capable of causing an accident, an appropriate decision is immediately made and the accident is prevented. In the article, the authors for the first time in the scientific field have developed a new method, completely different from the existing methods for measuring the grounding resistance of overhead power line supports.

Keywords: electrical system, grounding system, grounding resistance measurement, induced currents of lightning rods and supports, overhead power line, lightning rods.

DOI:10.70784/azip.5.2025122

**ЭЛЕКТРЕТНЫЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ
ПОЛИЭТИЛЕН+НАНОГЛИНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ****¹САДЫГОВА А.Р., ¹АСИЛБЕЙЛИ П.Б., ²САФИЕВ Э.С.,
³АСИЛБЕЙЛИ Р.Р., ¹АЛЕКПЕРОВ В.А.**

¹ *Институт физики Министерства Науки и Образования Азербайджана,
AZ-1143, пр. Г. Джавида, 33. Баку, Азербайджан.*

² *Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
пр. Азадлыг, 20, AZ1010, Баку, Азербайджан.*

³ *Академия МЧС Азербайджанской Республики, AZ1089,
пос. Говсаны, ул. Э.Гасимова, Баку, Азербайджан.*

Исследованы электретные свойства нанокomпозитов на основе полиэтилена высокой плотности с добавками наноглины при различных напряжениях поляризации и температурах. Эффективная поверхностная плотность зарядов, собранных в полученных электретных материалах, зависит от количества наноглины. Плотность заряда увеличивается с увеличением содержания наноглины, а ее снижение наблюдается после 8,0%. Максимальные значения поверхностной плотности зарядов изменяются при различных температурах и в электрических полях различной напряженности.

Ключевые слова: наноглина, нанокomпозит, электрет, поляризация, полиэтилен.

Полимерные диэлектрики могут переходить в электретные вещества в результате создания поверхностных зарядов под воздействием внешних факторов (электрическое поле, механическое воздействие, электронное и ионное излучение и т. д.). В связи с бурным развитием различных областей физики и химии интерес к электретным веществам растет с каждым днем [1,2]. Свойства полимерных электретов характеризуются эффективной плотностью заряда ($\sigma_{\text{эф}}$) и временем жизни электрета (τ). Для электретов эти значения составляют $\sigma_{\text{эф}} = 10^{-5} \div 10^{-3}$ Кл/м² и $\tau = 3-10$ лет и более. Электреты, имеющие в настоящее время широкий спектр применения, охватывают все области: от бытовой до техники специального назначения. Поэтому получение электретов с определенными свойствами является практической необходимостью для расширения физических исследований.

Одним из основных направлений в создании новых электретных материалов является производство композитов на основе полимеров. В полученных композитных материалах образуются новые структурные элементы, которые действуют как ловушки для носителей заряда. Добавки, вводимые в полимеры, изменяют характер надмолекулярной структуры, влияя на переупаковку структурных элементов и образование новых кристаллических центров. Это приводит к образованию карбонильных, карбоксильных, пероксидных и гидропероксидных групп на границе раздела матрицы и введенной добавки.

В результате поляризации полимеры и полимерные композиты приобретают электретные свойства. Поляризация — нарушение статистического равновесия распределения заряженных частиц внутри вещества и представляет собой ориентацию молекулярных групп, обладающих электрическим моментом. В то же время в процессе поляризации на границе раздела фаз и в неоднородных областях фазового зазора накапливаются электрические заряды. Ионы и электроны могут вообще не взаимодействовать в полимерах, но они могут оказаться в ловушке и оставаться там в течение длительного времени. В качестве ловушек можно рассматривать различные дефекты и ориентированные диполи в структуре полимера (концевые группы, границы между кристаллическими и аморфными областями и т. д.) [3,4].

Ионы, инжектируемые из электродов, проникают на небольшую глубину (на расстояние нескольких молекулярных слоев от поверхности), тогда как электроны могут проникать глубже. Поскольку в образцах, подвергаемых поляризации при разных температурах, на поверхности накапливаются гомозаряды, можно получить гомоэлектрет, сняв электрическое напряжение после охлаждения. Взаимодействие на границе раздела фаз вызывает изменение

свойств отдельных компонентов системы, в результате чего композиционные материалы приобретают принципиально новые свойства по сравнению с компонентами, входящими в их состав. Структурно такие системы состоят из большого числа аморфных и кристаллических областей. Он образован переходными макромолекулами, которые переходят из кристаллических областей в аморфные области или наоборот. Если в такую сложную структуру добавить второй компонент (наноглина) с иной структурой и свойствами, то такие материалы приобретают уникальные свойства и способны влиять на физико-механические, а также электретные свойства полимерных нанокомпозитов.

В данной работе исследованы электретные свойства нанокомпозитов на основе полиэтилена высокой плотности (ПЭ) с добавлением наноглины (НГ) при различных напряжениях поляризации и температурах.

Методы подготовки образцов и измерения:

После механического смешивания НГ с ПЭ в различных процентных соотношениях (1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 мас. %) методом горячего прессования (418 К, 15 МПа, 10 мин) были получены тонкие (60-100 мкм) образцы. В качестве добавок используются НГ, представляющие собой слоистые силикаты монтмориллонита (ММТ), размеры этих слоев составляют: длина 200 нм, ширина 1–3 нм [5]. На рис.1 представлена структура атомной решетки кристалла ММТ: атомы Al, Mg и Fe расположены в центре и окружены слоем оксида кремния.

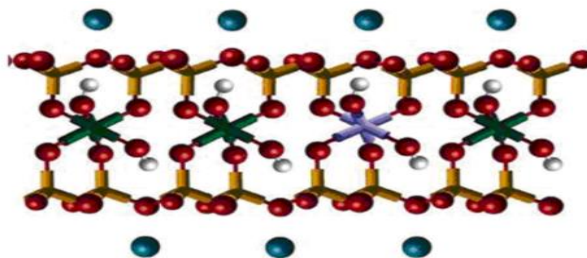


Рис.1. Атомная структура монтмориллонита.

Электростатический дисбаланс внутри силикатов с такой структурой увеличивается, а за пределами слоя наблюдается увеличение отрицательно заряженных частиц. Отрицательно заряженные частицы нейтрализуются путем поглощения катионов Na^+ и Ca^{++} . Плоская форма частиц Na^+ ММТ заставляет эти слои накладываться друг на друга, создавая слоистую структуру с полимерной матрицей. В нанокомпозитах с такой структурой прохождение воздуха и влаги затруднено, чем в матрице [5,6]. Нанокомпозиты на основе ПЭ подвергались поляризации в электрическом поле (E_n) различной интенсивности при разных температурах ($T_n = 360 \text{ К}, 380 \text{ К}, 400 \text{ К}, 410 \text{ К}$) в течение $t_n = 1$ час. Схема устройства электротермополяризации (ЭТП) для поляризации при различных T_n и E_n представлена на рис. 2.

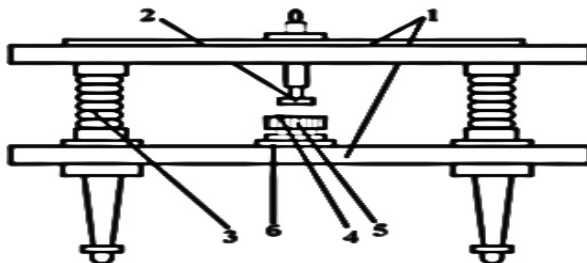


Рис.2. Устройство для исследования свойств электрета: 1-панель; 2- высоковольтный электрод; 3-опора; 4-образец; 5-печка; 6-Заземленный электрод

Полученные результаты были рассчитаны по этой формуле:

$$\sigma_{ef} = \frac{\epsilon \epsilon_0 U_k}{l}$$

где l -толщина образца, U_k -компенсирующее напряжение.

Результаты и их объяснение.

Многочисленные экспериментальные результаты по изучению электретных свойств полимерных диэлектриков показали, что заряды (поляризация), образуемые в объеме полимеров под действием электрического поля, накапливаются в матрице в местах, называемых ловушками, и могут оставаться там длительное время [6,7,8]. Свойства электрета определяются разностью потенциалов электрета $U_{п}$, создаваемой накоплением зарядов, и эффективной поверхностной плотностью накопленных зарядов $\sigma_{эф}$. Это обусловлено прежде всего изменениями количества зарядов, накопленных в ловушках различной глубины электретных диэлектрических материалов.

Зависимость $\sigma_{эф}$ от количества добавки для термоэлектриков, подвергавшихся ЭТП в течение одного часа, представлена на рис.3.

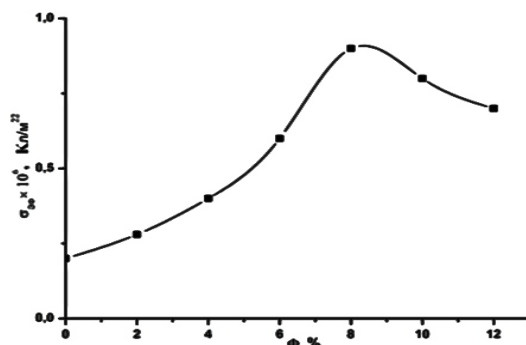


Рис. 3. Зависимость эффективной плотности заряда ПЭ от количества НГ (Φ):
 $T_{п} = 380 \text{ К}$; $E_{п} = 12 \cdot 10^6 \text{ В/м}$; $t_{п} = 1 \text{ час}$.

С увеличением объема НГ $\sigma_{эф}$ увеличивается и после 8,0% наблюдается снижение. Была исследована электретная стабильность образцов нанокompозита чистого ПЭ, ПЭ+4,0% НГ и ПЭ+8,0% НГ (рис.4).

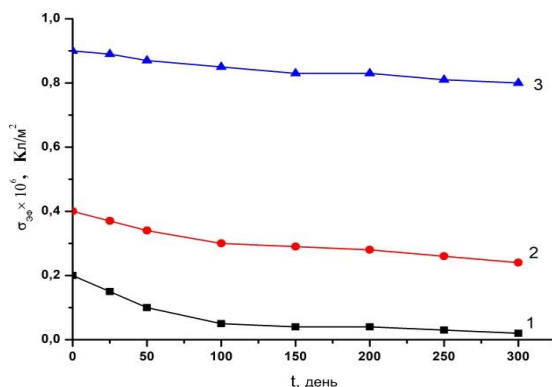


Рис. 4. Зависимость $\sigma_{эф}$ от времени старения (t) в нанокompозитах ПЭ+НГ:
 $T = 293 \text{ К}$; 1 - ПЭ; 2 - ПЭ+4,0% НГ; 3 - ПЭ+8,0% НГ.

Нанокompозит ПЭ+8,0% НГ более стабилен и имеет более высокий $\sigma_{эф}$ чем ПЭ [$\sigma_{эф}$ (ПЭ)=0,2 мкКл; $\sigma_{эф}$ (ПЭ+8,0% НГ) =0,9 мкКл]. Увеличение $\sigma_{эф}$ обусловлено ориентацией макромолекул, нарушением и перестройкой надмолекулярной структуры, конструкций между сферолитами и т.д. под влиянием ЭТП. В термоэлектриках, полученных поляризацией таким способом, может образовываться множество дефектов, которые действуют как глубокие ловушки для стабилизации и накопления заряда [9,10].

Из исследований [3,11] известно, что при воздействии на полимеры радиации, электрического разряда или электрического поля плотность заряда на единицу объема, образующегося в матрице, зависит от надмолекулярной структуры. В исследованных

нами образцах добавление НГ, $E_{п}$ и $T_{п}$ может изменить надмолекулярную структуру. В поляризованных образцах индуцированный дипольный момент создается в частицах НГ под действием $E_{п}$. Механизм образования дипольного момента можно объяснить на основе информации об атомной структуре частиц ММТ, представленной на рисунке 1, и модели полиэлектролита. Атом Si, имеющий ненасыщенную валентную связь, расположенный на поверхности частицы ММТ, соединяется с гидроксильной группой OH и становится насыщенным. Если эта группа теряет протон, она образует отрицательно заряженные $[O]^-$ и, наоборот, связывающие протон $[OH]^+$ группы. Под действием электрического поля таких заряженных частиц группы смещаются вдоль поверхности в соответствующем направлении, что приводит к образованию макродиполей.

При поляризации нанокомпозитов в электрическом поле макродиполи начинают закономерно выстраиваться при $T_{п}=380$ К и через определенное время остывают под действием поля. В процессе охлаждения диполи буквально «замораживаются», формируется упорядоченное расположение, и образцы становятся поляризованными. При увеличении количества добавки в нанокомпозите до 8,0% увеличивается и количество макродиполей. При дальнейшем увеличении добавки вероятность агломерации наночастиц возрастает.

Для изучения электретных свойств композитов, содержащих НГ, путем изменения условий поляризации был рассчитан электретный потенциал поляризованных образцов ПЭ и ПЭ+8,0% НГ при $t_{п}=1$ час и различных $T_{п}$ и $E_{п}$ (рис. 5).

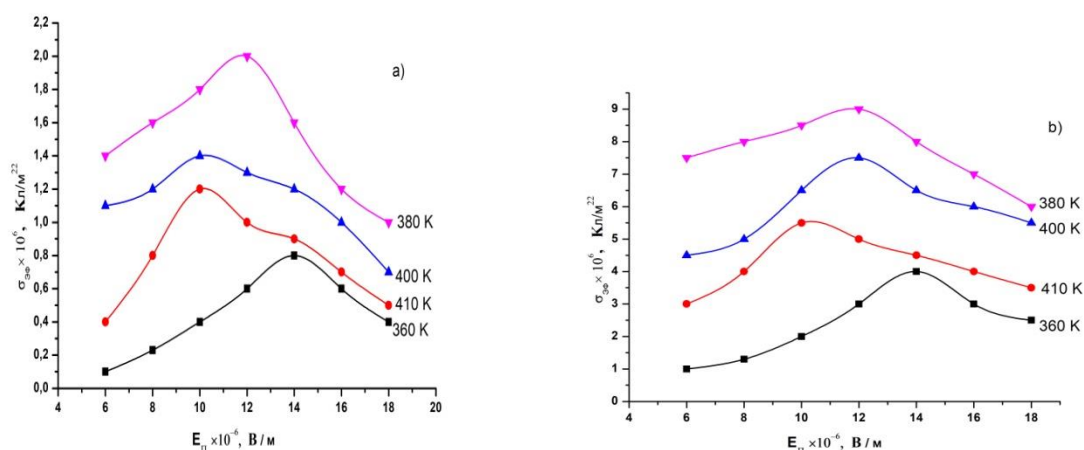


Рис.5. Зависимость $\sigma_{эф}$ от $E_{п}$: а) ПЭ; б) ПЭ+8,0 % НГ.

Как видно, при изменении $T_{п}$ и $E_{п}$ каждый образец имеет свои максимальные значения $\sigma_{эф}$, зависимость $\sigma_{эф} = f(E_{п})$ экстремальна при разных температурах, а поле поляризации, соответствующее наибольшему значению $\sigma_{эф}$, также зависит от $T_{п}$. При тех же условиях ($T_{п}, E_{п} = \text{const}$) $\sigma_{эф}$ нанокомпозитов выше, чем у ПЭ. Для обоих образцов максимальные значения $T_{п}$ смещаются в сторону меньших $E_{п}$ по мере увеличения $T_{п}$, что наблюдается для всех образцов. С ростом температуры поляризации ($T_{п} > 360$ К) число ловушек в объеме образца увеличивается и $\sigma_{эф}$ принимает наибольшие значения при малых $E_{п}$.

Заключение

Исследование электретных свойств, поляризованных нанокомпозитов в различных условиях показало, что нанокомпозит ПЭ+8,0% НГ обладает высокой электретной устойчивостью и наибольшим $\sigma_{эф}$. Ухудшение электретных свойств при увеличении добавки свыше 8,0% можно объяснить агломерацией наночастиц. Частицы НГ добавленные в ПЭ ведут себя подобно макродиполям и проявляются в возникновении процессов дипольной релаксации. При различных $E_{п}$ и $T_{п}$ изменение значений $\sigma_{эф}$ носит экстремальный характер.

1. *Кравцов А. Г., Бруниг Н.* Электретный эффект в волокнах на основе полипропилена, обработанных коронным разрядом// *Высокомолек. соед., серия А и Б*, 2000, т. 42, №6, с. 1074-1077.
2. *Кравцов А.Г.* О методах исследования электретного состояния полимерных материалов// *Пластические массы*, 2000, №8, с. 6-10.
3. *Kestelman V.N., Pinchuk L.S., Goldade V.A.* Electrets in engineering: fundamentals and applications. Boston; Dordrecht; London: Kluwer Academic publishers, 2000. 281 p.
4. *Рычков Д.А., Кузнецов А.Е., Рычков А.А.* Стабилизация зарядов полимерных электронов. СПб.: РГПУ имени А. И. Герцена, 2013. 159 с.
5. *Giannelis E.*, Polymer layered silicate nanocomposites // *Adv. Mater.*, 1995, v.8, p. 29-35.
6. *Giannelis E., Krishnamoorti N., Manias E.* polymer-Silicate Nanocomposites: Model Systems for Confined Polymers and Polymer Brushes // *Adv. Polym. Sci.*, 1998, v.138, p. 107.
7. *McCarty L., Whiteside G.* Electrostatic charging due to separation of ions at interfaces: Contact electrification of ionic electrets// *Angewandte Chemie*, 2008, vol. 47, pp. 2188-2207.
8. *Галиханов М.Ф., Гольдаде В.А., Дебердеев Р.Я.* Электретные свойства сополимера винилхлорида с винилацетатом и его композиций с тальком // *Высокомолекулярные соединения. Серия а*. 2005. Т. 47, №2. С. 264-269.
9. *Галиханов М.Ф., Еремеев Д.А., Дебердеев Р.Я.* Электреты на основе композиции полиэтилена высокого давления с техническим углеродом // *Пластические массы*. 2002. № 10. с. 26-28.
10. *Рычков А.А., Малыгин А.А., Трифонов С.А., Рычков Д.А.* Влияние химического модифицирования поверхности политетрафторэтилена на его электретные свойства // *Журнал прикладной химии*. 2004. Т. 77, вып. 2. 280-284.
11. *Еремеев Д.А., Галиханов М.Ф., Дебердеев Р.Я.* Изучение композиционных короноэлектретов на основе полиэтилена и белой сажи // *Структура и динамика молекулярных систем*, 2003, ч. 1, вып. 10, с. 122-125.

MÜXTƏLİF TEMPERATURLARDA POLİETİLEN+NANOĞİL NANOKOMPOZİTLƏRİNİN ELEKTRET XASSƏLƏRİ

**SADIQOVA A.R., ƏSİLBƏYLİ P.B., SƏFİYEV E.S.,
ƏSİLBƏYLİ R.R., ƏLƏKBƏROV V.Ə.**

Yüksək sıxlıqlı polietilen əsasında nanogil əlavəli nanokompozitlərin elektret xassələri müxtəlif polyarizasiya gərginliklərində və temperaturlarda öynənilməmişdir. Alınan elektret maddələrdə toplanan yüklərin effektiv səthi yük sıxlığı, nanogilin miqdarından asılıdır. Nanogilin artması ilə yük sıxlığı artır, 8,0%-dən sonra azalma müşahidə olunur. Müxtəlif temperaturlarda və müxtəlif intensivlikli elektrik sahəsində yüklərin səthi sıxlığının maksimum qiymətləri dəyişir.

Açar sözlər: nanogil, nanokompozit, elektret, polyarlaşma, polietilen.

ELEKTRET PROPERTIES OF POLYETHYLENE+NANOCLAY NANOKOMPOSITES AT DIFFERENT TEMPERATURES

**SADIGOVA A.R., ASILBAYLI P.B., SAFIYEV E.S.,
ASILBAYLI R.R., ALEKPEROV V.A.**

It were studied electret properties of nanocomposites based on high-density polyethylene with nanoclay additives at different polarization voltages and temperatures. The effective surface charge density collected in the obtained electret materials depends on the amount of nanoclay. The charge density increases with increasing nanoclay content, and its decrease is observed after 8.0%. The maximum values of the surface charge density change at different temperatures and in electric fields of different strengths.

Keywords: nanoclay, nanocomposite, electret, polarization, polyethylene.

DOI:10.70784/azip.5.2025127

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МАСС ЭЛЕКТРОНОВ И ДЫРОК
В ТВЕРДЫХ РАСТВОРАХ $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ИЗ ИЗМЕРЕНИЙ
КИНЕТИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ В СЛАБЫХ
МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

¹ЭМИНОВА В.И., ²ГАДИЕВА А.А.

*¹Азербайджанский-Французский Университет при Азербайджанском Государственном
Университете Нефти и Промышленности (УФАЗ),*

ул. Низами 183, Баку AZ 1010

poladova-vusale@bk.ru

*²Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20, Bakı,
Azərbaycan, AZ1010*

Исследованы температурные зависимости электропроводности σ , коэффициента Холла R и коэффициента термо э.д.с. α в твердых растворах $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ($0 \leq x \leq 0,10$) при 80-1000 К. По данным кинетических параметров определены эффективные массы электронов и дырок. Установлено, что, начиная с $x=0.05$, твердые растворы $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ относятся к узкозонным полупроводникам, обладающими высокими значениями матричного элемента взаимодействия.

Ключевые слова: ширина запрещенной зоны, эффективная масса, приведенный химический потенциал, узкозонные полупроводники.

Характерной особенностью кристаллов твердых растворов $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ является наличие в их кристаллической решетке стехиометрических вакансий с высокой концентрацией ($10^{18} - 10^{20} \text{см}^{-3}$) и связанных с ними локализованных состояний в запрещенной зоне [1-6], и эта величина растет с ростом мольной доли иттербия в составе твердых растворов. С ростом концентрации $YbTe$ твердого раствора среднее расстояние между атомами растворенного вещества $TlYbTe_2$ достигает значений, при которых межпримесное взаимодействие начинает вносить заметный вклад в энергию кристалла растворителя $TlInTe_2$ [2], и это приводит к появлению принципиально новых свойств, не характерных для исходного материала. Так, при легировании $TlInTe_2$ некоторыми редкоземельными элементами (Gd, Pr, Nd, Eu, Ga, Yb) наблюдается эффект стабилизации уровня Ферми, когда его положение определяется только составом сплава и не зависит от концентрации легирующих примесей [1,3,7].

Несмотря на то, что исследованию электрических и тепловых свойств $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$, посвящен ряд работ [1-6], в них не было изучено влияние иттербия на энергетический спектр носителей заряда. Данный вопрос представляет особый научный и практический интерес, так как переход от $TlInTe_2$ к $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ позволяет улучшить термоэлектрические свойства при температурах $T > 600 \text{K}$ [8]. Поэтому целью настоящей работы является изучение энергетического спектра носителей заряда в твердых растворах $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$. В данной работе исследованы температурные зависимости электропроводности (σ), коэффициент Холла (R) и термо-э.д.с. (α) в твердых растворах $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ($0 \leq x \leq 0,10$) при 80 - 1000К. Измерения σ , R и α проводились на образцах с омическими контактами при постоянном токе [5] в постоянных магнитных полях вплоть до 1200 А/м. Погрешность измерений не превышала 4-5%.

Результаты и их обсуждение.

На рис.1 приведены температурные зависимости электропроводности $\sigma(T)$ твердых растворов $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$. Как видно из рисунка, зависимости $\sigma(T)$ для разных составов твердых растворов существенно отличаются друг от друга. Для исходного соединения

TlInTe_2 собственная область проводимости начинается при температуре $T \sim 700\text{K}$, а в твердых растворах $\text{TlIn}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Te}_2$ по мере роста относительного содержания иттербия в составах собственная область смещается в сторону более высоких температур (рис.1).

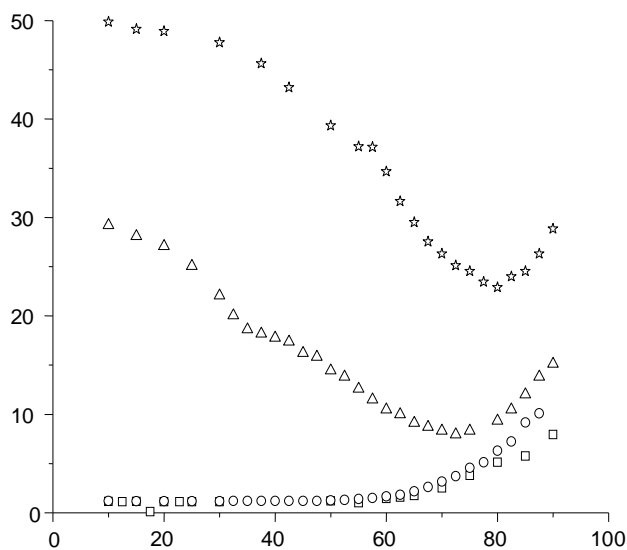


Рис.1. Температурные зависимости электропроводности в $\text{TlIn}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Te}_2$; точки- экспериментальные: \square - ($x=0$), \circ - ($x=0.02$), Δ - ($x=0.05$), $*$ - ($x=0.10$).

По наклонам кривых $\lg\sigma(10^3/T)$ в области высоких температур была оценена термическая ширина запрещенной зоны (E_g) для исследованных образцов; было выявлено, что по мере роста содержания относительного количества иттербия в составах твердых растворов E_g изменяется от $0,70\text{эВ}$ для исходного соединения TlInTe_2 и до $0,54\text{эВ}$ для $\text{TlIn}_{0,90}\text{Yb}_{0,10}\text{Te}_2$. Это свидетельствует о том, что в твердых растворах наряду с «самолегированием» происходит также «самокомпенсация».

На рис. 2 и 3 представлены температурные зависимости коэффициентов Холла $R(T)$ и термоэдс $\alpha(T)$ твердых растворах $\text{TlIn}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Te}_2$. Знаки обоих коэффициентов положительны, и это свидетельствует о том, что проводимость полностью осуществляется дырками.

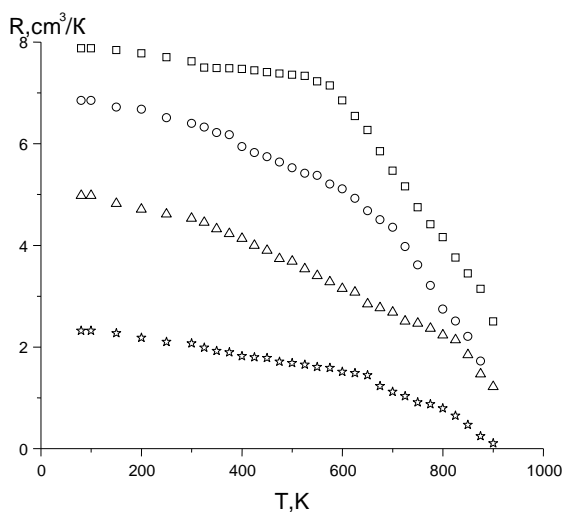


Рис.2. Температурные зависимости коэффициент Холла (при $H=1200\text{A/m}$) в $\text{TlIn}_{1-x}\text{Yb}_x\text{Te}_2$. Обозначение те же, что на рис. 1.

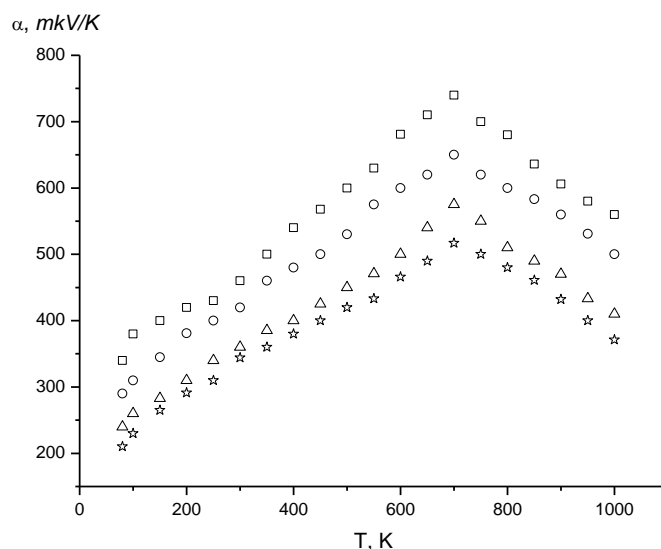


Рис.3. Температурные зависимости термо э.д.с. в $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$.
Обозначение те же, что на рис.1.

Из рис.2 видно, что при слабом замещении атомов In атомами Yb, коэффициент Холла уменьшается, и, соответственно концентрация дырок увеличивается. На всех образцах при $T > 650K$ наблюдается область собственной проводимости. При дальнейшем увеличении относительного содержания Yb в составах, область собственной проводимости смещается в сторону более высоких температур. Данный факт наблюдается так же на температурной зависимости $\alpha(T)$, откуда видно, что до температуры $T \sim 650K$, $\alpha(T)$ линейно возрастает, а при наступлении собственной области, медленно уменьшается. Из рис.1-3 видно, что, начиная с $x \geq 0.05$ температурный ход $\sigma(T)$ и $\alpha(T)$ имеет такой же характер, что и для узкозонных полупроводников [9].

В данных образцах слабая зависимость $R(T)$ и линейная зависимость $\alpha(T)$ до $T \sim 650K$ означает, что проводимость осуществляется одним типом носителей заряда, что и дает возможность определить эффективную массу дырок (см. таб.) [10].

При определении температурной зависимости $E_g(T)$ было принято соотношение $\partial E_g / \partial T = -1.2 \cdot 10^{-4} \text{ эВ/К}$ [11].

Было установлено, что для всех образцов эффективная масса дырок в интервале температур 100-650K почти не меняется. Это указывает на то, что валентная зона $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ подчиняется квадратичному закону дисперсии. Следует отметить, что до настоящего времени не был исследован энергетический спектр зоны проводимости в $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$.

Используя значение эффективной массы дырок и полагая, что концентрация доноров $N_d = 0$, по значению коэффициента Холла при $T \leq 700K$ находим концентрацию акцепторов $N_a \sim 1,2 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$ (образец $x=0.05$) и температуру снятия вырождения дырочного газа при $T_{nd} \sim 640K$.

Как видно из таблицы, значения m_p^* , m_n^* в $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ относительно меньше, чем в других растворах $TlIn_{1-x}Ln_xTe_2$ [11]. Из таблицы также видно, что в образцах $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ в основном существует корреляция между шириной запрещенной зоны, эффективной массы m_p^* , m_n^* и матричным элементом взаимодействия. Из этого ряда выпадает лишь то, что по сравнению с другими узкозонными полупроводниками [9] большая эффективная масса электронов в $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ может быть связана либо с матричным элементом взаимодействия, либо с кристаллической структурой.

Зонные параметры и подвижности дырок в твердых растворах $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$

Таблица

Образцы Параметры	T=100K				T=300K			
	x=0	x=0.02	x=0.05	x=0.10	x=0	x=0.02	x=0.05	x=0.10
E_g (эВ)	0.70	0.66	0.62	0.54	0.68	0.63	0.59	0.51
m_p^*	0.55	0.52	0.48	0.43	0.53	0.51	0.46	0.40
m_n^*	0.040	0.036	0.034	0.031	0.037	0.033	0.032	0.030
$P \times 10^8$ (эВ·см)	4.1	4.0	3.9	3.6	4.0	3.9	3.8	3.5
$\mu_p \times 10^{-3}$ (см ² /В·с)	210	230	1200	1350	180	195	1100	1250

Твердые растворы $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ кристаллизуются в тетрагональной сингонии, как и исходное соединение $TlInTe_2$ [12]. В этой сингонии взаимодействие электронов с кристаллической решеткой незначительно [13]. В силу [13] можно полагать, что большие значения E_g и m_n^* не связаны с кристаллической структурой. Можно ожидать, что их значения обусловлены высоким значением матричного элемента взаимодействия,

$$P = \left[\frac{3\hbar^2}{4m_0} E_g (1 - m_n^*) \right]^{1/2} \quad (1)$$

Из рис.2 видно, что до температуры $T \sim 650K$ концентрация дырок возрастает настолько, что продолжается вырождение дырочного газа, что и также характерно для узкозонных полупроводников [9]. Эта оценка подтверждается температурными зависимостями σ и R при $T \leq 640K$.

Итак, в исследованной области температур твердый раствор $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ($0 \leq x \leq 0,10$) обладает дырочной проводимостью при сильновырожденном состоянии дырочного газа. При $T \geq 650K$ наблюдается область собственной проводимости и характер температурных зависимостей σ и α объясняется наличием двух типов носителей заряда. Начиная с $x=0.05$, при переходе от $TlInTe_2$ к $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$, температурный ход $\sigma(T)$ качественно и количественно сильно отличаются. Предполагается, что этот переход сопровождается переходом от полупроводника к узкозонному полупроводнику.

1. Зарбалиев М.М. Неорг. Материалы, 1999, №5, т.35, с.560.
2. Оруджев Г.С., Годжаев Э.М., Керимова Р.А. ФТТ, 2006, №1, т.48, с.40.
3. Иванова Л.Д., Петрова Ю.В., Гранаткина Ю.В., Свечникова Т.Е., Коржуев М.А., Земсков В.С. Неорг. Материалы, 2007, №12, т.43, с.1436.
4. Зарбалиев М.М. Изв. АН Азерб. Респуб., Физика, 1999, №3, т.5, с.26.
5. Годжаев Э.М., Керимова Р.А. Неорг. Материалы, 2004, №11, т.40, с.1314.
6. Зарбалиев М.М., Ахмедова А.М., Зарбалиева У.М. Вестник Бакинского Гос.Унив., 2011, №1, с.1435.
7. Волков Б.А., Рябова Л.И., Хахлов Д.Р. УФН, 2002, №8, т.72, с.875.
8. Hartman T.C. J.Appl. Phys., 1958, v.29, pp.1471.
9. Радауцан С.И., Арутюнов Э.К., Пругло В.И. Полуметаллы и узкозонные полупроводники. Кишинев, Штиница, 1979, 138с.
10. Аскеров Б.М. Кинетических эффекты в полупроводниках. 1970, с.303.

11. Керимова Э.М. Кристаллофизика низкоразмерных халькогенидов. Изд.<<ЭЛМ>>, Баку-2012, 708с.
12. Алиев Ф.Ф., Керимова Э.М., Алиев С.А. ФТП, 2002, №8, т.36, с.932.
13. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в полупроводниках. Изд.<<Наука>>,1970, 303с.

**ZƏİF MAQNİT SAHƏLƏRİNDƏ $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ BƏRK MƏHLULARININ
KİNETİK ƏMSALLARININ ÖLÇÜLMƏSİNDƏN İSTİFADƏ EDƏRƏK ELEKTRON
VƏ DEŞİKLƏRİN EFFEKTİV KÜTLƏLƏRİNİN TƏYİNİ**

EMINOVA V.I., HADIYEVA A.A.

$TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ($0 \leq x \leq 0,10$) bərk məhlularında elektrikkeçirmə, Hall və termoelektrik əmsallarının (σ, R, α) temperatur asılılıqları ($\sigma(T), R(T), \alpha(T)$) 80-1000K temperatur intervalında tədqiq olunmuşdur. Bu kinetik əmsallar əsasında elektron və deşiklərin effektiv kütlələri təyin olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, $x=0.05$ qiymətindən başlayaraq, $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ bərk məhlulu özünü darzolaqlı yarımkeçirici kimi aparır.

Açar sözlər: qadağan olunmuş zonanın eni, effektiv kütlə, gətirilmiş kimyəvi potensial, darzolaqlı yarımkeçiricilər.

**DETERMINATION OF EFFECTIVE MASSES OF ELECTRONS AND HOLES
IN $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ON THE BASES OF MEASURED KINETIC COEFFICIENTS IN
THE WEAK MAGNETIC FIELDS**

EMINOVA V.I., HADIYEVA A.A.

The temperature dependence of the electrical conductivity $\sigma(T)$, the Hall coefficient $R(T)$ and the coefficient of thermo-power $\alpha(T)$ in the solid solutions $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ ($0 \leq x \leq 0,10$) at 80-1000 K have been investigated. The effective masses of electrons and holes have been determined on the basis of the kinetic parameters. It was established that starting with $x = 0.05$ solid solutions of $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ belong to the narrow-gap semiconductors having high interaction matrix element.

Keywords: band gap, effective mass, chemical potential, narrow-gap semiconductors.

DOI:10.70784/azip.5.2025132

TİKİŞLİ POLİETİLEN İZOLYASİYALİ KABELLƏRİN QALIQ RESURSLARININ TƏYİNİ

ƏHMƏDOV E.N., MUXTAROVA K.M.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Bakı, Azadlıq prospekti, 20
elbrusahmed@gmail.com*

Məqalədə tikişli polietilen (TPE) izolyasiyalı kablərin istismar müddətinin qiymətləndirilməsi məsələlərinə həsr edilmişdir. TPE-lər yüksək mexaniki və elektrofiziki xassələrə malik olmalarına baxmayaraq istismar müddətində deqradasiyaya məruz qalır, bu da onların elektrik möhkəmlilərinə mənfi təsir göstərir. TPE izolyasiyasının qalıq resursunun proqnozlaşdırılması elektrik sistemlərinin etibarlı işləməsi üçün əsas amillərdən biridir. İşdə TPE izolyasiyalı kablərin istismar müddətinə təsir edən əsas amillər, köhnəlmə proseslərinə təsvir edən riyazi modellər təhlil edilmiş və Arrhenius tənliyi əsasında kabelin resursu müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: Kabelin izolyasiyası, tikişli polimer, termiki köhnəlmə, izolyasiyanın qalıq resursu.

Giriş. Elektrik şəbəkələrinin etibarlılığını və davamlılığını təmin edilməsində izolyasiya materialları əsas rol oynayır. Müasir dövrdə tikişli polietilenlər kablərin izolyasiyasında ən çox istifadə edilən materiallardan biridir. Belə izolyasiya materialları yüksək mexaniki və elektrik xüsusiyyətləri, eləcə də xarici amillərə qarşı müqaviməti ilə xarakterizə olunur. Bununla belə, qeyd edilən üstünlüklərinə baxmayaraq, zaman keçdikcə TPE izolyasiyası köhnəlməyə məruz qalır, bu da onun istismar xüsusiyyətlərinin azalmasına və nəticədə sıradan çıxmasına səbəb ola bilər.

TPE izolyasiyanın qalıq resursunun proqnozlaşdırılması elektrik şəbəkələrinin etibarlı işləməsini təmin etmək üçün vacib vəzifələrdən biridir. Bunun üçün materialın deqradasiya dərəcəsini qiymətləndirməyə və onun qalan istismar müddətini proqnozlaşdırmağa imkan verən riyazi modellərin tərtib edilməsi lazım gəlir.

Təqdim edilən məqalə izolyasiyanın köhnəlmə prosesinin təhlili əsasında izolyasiyanın qalıq resursunun proqnozlaşdırmaq üçün riyazi modellər araşdırılmış və həmçinin TPE-nin davamlılığına təsir edən amillər nəzərdən keçirəcək. TPE-lərin izolyasiyasının pozulmasına təsir edən əsas amillər bunlardır:

- Temperatur: Yüksək temperatur polimerin termiki deqradasiya prosesini sürətləndirir ki, bu da izolyasiyanın oksidləşməsinə və onun möhkəmliyinin azalmasına səbəb olur. İzolyasiyada baş verən kimyəvi reaksiyaların sürətinin mühitin temperaturu ilə əlaqəli Arrhenius tənliyi ilə ifadə edilir;
- Elektrik sahəsi: İzolyasiya yüksək gərginlikli elektrik sahəsinin təsirinə məruz qaldıqda daxildə olan mikro boşluqlarda və mikro çatlarda qismi boşalmanın yaranmasına səbəb olur ki, bu da lokal zədələnmələrə səbəb olur və materialın köhnəlməsi sürətlənir;
- Mexaniki yüklər: Sıxılma və dartılma gərginliyi kimi daimi mexaniki yüklər polimerdə struktur dəyişikliklərinə səbəb ola bilər və bu da izolyasiyada çatların və mikrozədələnmələrin yaranmasına gətirib çıxara bilər;
- Ətraf mühitin təsiri: Ultrabənövşəyi şüalanma, radiasiya, nəmlik, cirkənmə və s. materialın deqradasiyasına səbəb ola bilər ki, bu da onun molekulyar strukturunun dəyişməsinə və istismar müddətinin azalmasına səbəb olur.

Məsələnin qoyuluşu. Tikişli polietilen izolyasiyalı kablərlər yüksək izolyasiya xüsusiyyətlərinə, kimyəvi təsirlərə və mexaniki zədələrə davamlılığına görə elektrik şəbəkələrində geniş istifadə olunur. Bununla belə, hər hansı digər element kimi, onların

etibarlılığı və təhlükəsiz istismarını təmin etmək üçün qiymətləndirilməli olan müəyyən bir istismar müddəti vardır.

İşin məqsədi, TPE izolyasiyalı kabellərin istismar xüsusiyyətlərinə təsir edən müxtəlif amilləri nəzərə alaraq istifadə müddətinin qalığı resursunun müəyyən edilməsi metodikasının araşdırılmasıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, tikişli polietilen izolyasiyası olan kabellər standart qısamüddətli ifrat gərginliyin təsirinə davam gətirə bilər. İfrat yüklənmə rejimində damarların icazə verilən qızma temperaturu 130 °C-dir kabel xəttinin bu rejimdə işləmə müddəti gündə səkkiz saatdan və bütün xidmət müddəti ərzində 1000 saatdan çox olmamalıdır [1].

Məsələnin həlli. Bəzən təkcə sınaqların keçirilməsi ilə izolyasiya materialının və ya elektrik avadanlıqlarının xidmət müddətinin qiymətləndirilməsi mümkün olmur və bunun üçün riyazi modellərdən istifadə edilir. İzolyasiyanın deqradasiyasının müxtəlif mexanizmlərinə əsaslanan bir çox məlum riyazi modellər mövcuddur [2-4].

İzolyasiyanın köhnəlməsinin Jurkov modeli [6]:

$$\tau_o = \tau_o \exp\left(\frac{w - \chi E}{RT}\right) \quad (1)$$

burada, τ_o –eksponent vahidə yaxınlaşan zaman xidmət müddəti; w struktr pozulmasının aktivləşmə enerjisi, R - universal qaz sabiti; χ —strukturun parametri; E - elektrik sahəsinin gərginliyidir.

İzolyasiyanın köhnəlməsinin J.-P.Krayna modeli [6]:

$$\tau_o \cong \frac{h}{2kT} \exp\left(\frac{\Delta G - 0,5 \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \Delta V E^2}{RT}\right) \quad (2)$$

burada ε , ε_0 materialın nisbi və mütləq dielektrik nüfuzluğu, E elektrik sahəsinin gərginliyi və ΔV həmin sahədə olan aktivləşmə həcmidir.

Arrenius modeli-təmliyi [6]:

$$\tau_o = \tau_o \exp(-BcT)(E \cdot E_0^{-1})^{-(n_0 - bcT)} \quad (3)$$

burada E elektrik sahəsi; $cT = 1/T_0 - 1/T$ – şərti temperatur gərginliyi (T - temperatur tur; T_0 —nəzarət olunan temperatur (otaq temperaturu); n_0 —gərginliyə davamlılıq kriteriyası; E_0 elektrik sahə gərginliyi; $\tau_o - T = T_0$, $E = E_0$, $B = \Delta W/k$ olduqda xidmət müddətidir (ΔW – termiki destruksiyanın aktivləşmə enerjisidir, k - Bolsman sabitidir); b - elektrik və istilik sahələrinin qarşılıqlı təsir parametridir.

İzolyasiyanın köhnəlməsinin Kuçinski modeli [5]:

$$\tau_o = AE^{-n} \exp\left(\frac{W_a}{kT}\right) \quad (4)$$

burada E – elektrik sahəsinin gərginliyi; W_a – aktivləşdirmə enerjisi; k – Bolsman sabiti; T – temperatur; A – izolyasiyanın materialından və xüsusiyyətlərindən asılı olan sabit; n – izolyasiyanın növündən asılı olan dərəcə indeksidir.

İzolyasiyanın köhnəlməsinin əsas səbəblərindən biri temperaturun artmasıdır. İstiliyin təsiri ilə polimer daxilində oksidləşdirici destruksiya reaksiyası baş verir və yüksək molekullu birləşmələr parçalanır. Həmçinin temperaturun artması ilə kimyəvi reaksiyaların baş verməsi sürətlənir, o cümlədən dielektrikdə qismi boşalmalar yaranır və bu boşalmanın təsiri altında əmələ gələn digər aktiv maddələr də oksigenlə birləşək destruksiyanın intensivliyini artırır. Reaksiya sürətinin temperaturdan asılılığı Arrenius qanununa tabedir və sadə şəkildə aşağıdakı ifadə ilə göstərilir [12,13,14]:

$$K_t = K_0 e^{-\frac{W_a}{kT}} \quad (5)$$

burada K_0 maddənin strukturundan asılı olan sabit; W_a – hər molekul üçün aktivləşmə enerjisi; k – Bolsman sabiti ($k = 1,380649 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$); T - mütləq temperaturdur.

Başlanğıc şərtləri ($t=0$, $N_t=N_0$) (5) –də nəzərə alsaq yaza bilərik:

$$N_t = N_0 e^{-K_t t} \quad (6)$$

burada N_0 verilmiş maddənin molekullarının ilkin sayı; t zaman intervalından sonra molekulların sayı N_t - dir.

Köhnəlmə prosesi eksponensial xarakterlidir [8]. İzolyasiya τ_{r1} , τ_{r2} resursları T_1 , T_2 temperaturlarından müvafiq olaraq aşağıdakı ifadə şəklində əlaqəlidir [7].

$$\tau_{r1} e^{-W_a/(kT_1)} = \tau_{r2} e^{-W_a/(kT_2)} \quad (7)$$

(7) ifadəsindən istifadə edilməklə 90 və 130 °C-də tikişli polimer izolyasiyanın resursları təyin edilmişdir [9], $\frac{\tau_{r(90)}}{\tau_{r(130)}} = 30,5$.

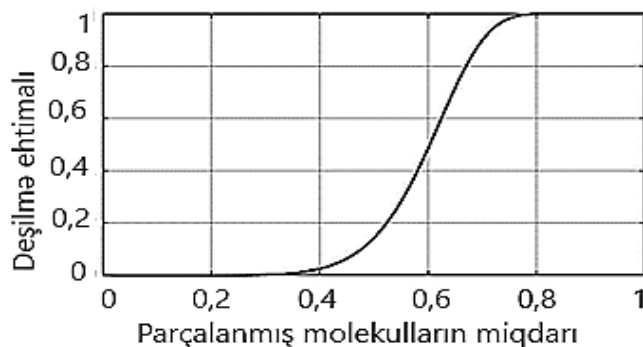
Beləliklə, 130 ° C-də polietilen izolyasiyasında istilik oksidləşdirici destruksiya reaksiyası 90 ° C-də olduğundan 30,5 dəfə daha sürətli gedir.

Kabel izolyasiyasının qalıq resursunun riyazi hesablanması üçün materialın deşilmə ehtimalının onun parçalanma dərəcəsiindən asılılığını bilmək lazımdır. Bunu Veybul paylanması ilə təyin etmək mümkündür və həmin ifadə aşağıdakı kimidir:

$$F = 1 - e^{-\left(\frac{x}{v}\right)^k} \quad (8)$$

Burada, elektrik enerjisi sistemlərinin etibarlılığının hesablanmasında istifadə olunan parametr kimi miqyas $\lambda = 0,63$ (63%), forma əmsal isə $k = 8$ götürülməsi qəbul olunur. Şək.1-də göstərilmiş əyriyə əsasən materialın 78%-i dağılan zaman onun deşilməsi ehtimalı vahidə yaxınlaşır [10, 12].

İzolyasiya materialının strukturunun 35,5% -i dağıldıqda o, zaman istifadə üçün yararsız kimi tanınması tövsiyə olunur, çünki qeyd edilən bu qiymətdən sonra izolyasiyanın deşilməsi ehtimalı əhəmiyyətli dərəcədə artmağa başlayır ki, bu da izolyasiyada çox sayda qüsurların meydana gəlməsinə səbəb ola bilər [11, 15]. Yuxarıda göstərilənlərin nəzərə alsaq, düstur (4) aşağıdakı kimi təqdim edilə bilər:



Şək.1. İzolyasiya materialının deşilmə ehtimalının molekulların parçalanma miqdarından asılılığı

$$\tau_o = \frac{\ln \frac{N_t}{N_0}}{c \cdot B \cdot E^n \cdot K_0 \cdot \exp\left(-\frac{W_a}{kT}\right)} \quad (9)$$

və ya

$$\tau_o = \frac{\ln \frac{N_t}{N_0}}{c \cdot P_{qb} K_t(t)} \quad (10)$$

burada N_t – verilmiş zaman anında cismin vahid həcminə düşən molekulların sayı; N_0 – zədələnmədən əvvəl cismin vahid həcminə düşən molekullarının sayı, $N_t/N_0=0,645$ qəbul edilir, $P_{qb} = B \cdot E^n$ – qismi boşalmaların gücü; B – sabit; E – elektrik sahəsinin gərginliyi; n - materialın növündən və quruluşundan asılı dərəcə; $K_t(T) = K_0 \cdot e^{-W_a/kT}$ - verilmiş zaman anındakı temperaturda kimyəvi reaksiyaların sürət; K_0 –Arrhenius qanununundakı reaksiyanın sürətini nəzərə alan sabit; W_a – aktivləşmə enerjisi; k - Boltsman sabiti; T - temperatur Kelvinlə; c – vurğu əmsalı olub elektrik sahəsi və temperatura əsasən təyin edilir.

(9) ifadəsinə əsasən, sabit gərginlik və temperaturda verilmiş zamanda parçalanmamış molekulların sayı aşağıdakı kimi hesablanacaqdır.

$$N_t = N_0 e^{-c \cdot B \cdot E^n \cdot K_0 \exp\left(-\frac{W_a}{kT}\right) \cdot t} \quad (11)$$

Sahə gərginliyinin və temperaturun dəyişməsi funksiyalarının xaotik olduğunu nəzərə alaraq hesablamaların aşağıdakı düsturdan istifadə etməklə aparılması təklif olunur [11]:

$$N_t(t) = \int_0^t v(t) dt \quad (12)$$

burada $v(t)$ – t zaman anında, müxtəlif amillərin birgə təsiri altında materialın parçalanma-dağılma sürəti olub, aşağıdakı düsturla müəyyən edilə bilər:

$$v(t) = -\frac{dN_t}{dt} = c \cdot B \cdot E^n \cdot K_0 \cdot \exp\left(-\frac{W_a}{kT}\right) \cdot N_0 \cdot e^{-c \cdot B \cdot E^n \cdot K_0 \exp\left(-\frac{W_a}{kT}\right) \cdot t} \quad (13)$$

Daha sonra, izolyasiyanın istismar müddətini-qalıq resursunun proqnozlaşdırması üçün verilmiş zaman ərzində əldə edilmiş məlumatlar əsasında $N_t(t)$ funksiyasını ekstrapolyasiya etmək lazımdır. Elektroenerji sistemində baş verən proseslərin dövrü xarakterini nəzərə alsaq, qeyd edilən funksiyanın eksponensial xarakterli olacağını ehtimal edə bilərik.

NƏTİCƏ

Tikişli polietilen izolyasiyalı kabellər yüksək izolyasiya xüsusiyyətlərinə malik olmaqla yanaşı, etibarlılığın təmin etmək üçün qalıq resursunun qiymətləndirilməsi xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Riyazi modellərdən istifadə edərək, müəyyən edilmişdir ki, 130°C-də istilik destruksiya reaksiyası 90°C-də olduğundan 30,5 dəfə daha sürətli baş verir. İzolyasiyanın strukturunun 35,5% -i parçalanmış olarsa, deşilmə ehtimalı əhəmiyyətli dərəcədə artır. Beybul paylanması əsasən, materialın 78%-i parçalandıqda, sıradan çıxma ehtimalı demək olar ki, 100%-ə çatır. Bu nəticələr elektrik sistemlərinin etibarlılığını artırmaq üçün temperatur amillərinin nəzərə alınmasının və izolyasiya materiallarının vəziyyətinin mütəmadi olaraq monitorinqinin vacibliyini vurğulayır.

1. Силовые кабельные линии напряжением 6–110 кВ. Нормы проектирования по прокладке кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена пероксидной сшивки: ТКП 611–2017 (33240). Введ. 02.10.2017. Минск: Минэнерго, 2017. 149 с.
2. *Mazzanti G.* Life and reliability models for high voltage DC extruded cables // IEEE Electr. Insul. Mag. 2017. Vol. 33, Issue 4. P. 42–52. DOI: 10.1109/MEI.2017.7956632.
3. *Mazzanti G.* Life Estimation of HVDC Cables Under the Time-Varying Electrothermal Stress Associated With Load Cycles //IEEE Trans. Power Deliv. 2015. Vol. 30, Issue 2. P. 931–939. DOI:10.1109/TPWRD.2014.2352681.
4. *Shan, B.; Du, C.; Cheng, J.; Wang, W.; Li, C.* Residual Life Prediction of XLPE Distribution Cables Based on Time-Temperature Superposition Principle by Non-Destructive BIS Measuring on Site. *Polymers* 2022, 14, 5478. <https://doi.org/10.3390/polym14245478>.
5. *Polyakov D.A., Yurchuk D.A., Nikitin K.I.* Cables XLP EInsulation Residual Life Monitoring // 2018 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application, (ICHVE). 2018. P. 1–4. DOI: 10.1109/ICHVE.2018.8641910.
6. *Кучинский, Г.С.* Изоляция установок высокого напряжения /Г.С. Кучинский, В.Е. Кизеветтер, Ю.С. Пинталь; под общ. ред. Г.С. Кучинского. М.: Энергоатомиздат, 1987. с.368.
7. *Беспрозванных, А.В.* Критерии оценки степени старения силовых кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией /А.В. Беспрозванных, Е.С. Москвитин //Электротехника и электромеханика. 2013. № 4. с. 32–36.
8. *Олексюк И.В.* Старение изоляции из сшитого полиэтилена кабельных линий. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021;64(2):121-129. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-2-121-129>.
9. *Mosch W., Hauschild W.* Statistical Techniques for HV Engineering. London, 1992.

- 318p., ISBN 978-0-86341-205-9.
10. Поляков, Дмитрий Андреевич. "Математическая модель расчета остаточного ресурса сшитой полиэтиленовой изоляции кабелей." *Омский научный вестник* 4 (154) (2017): 66-69.
 11. Пириева Н.М., Джавадзаде Т.Э. Методы определения мест повреждений кабелей со строительной полиэтиленовой изоляцией. *Журнал Проблем энергетики* №1, Баку, 2023 стр. 85-90.
 12. Пириева Н.М., Ибадова Ф.А. //Общие принципы диагностики кабельных линий// *Международный научный журнал Флагман науки: научный журнал*. Январь 2024. - СПб., Изд. ГНИИ "Нацразвитие" - 2024. №1(12).
 13. Пириева Н.М., Заманов Х.Г. Исследование современных методов защиты линий высокого напряжения от перенапряжений. *Международный научный журнал «Вестник науки»* № 7 (76) Том 4. 2024 г. С 322-328
 14. Piriyeva N.M., Ganiyeva N.A., Karimova R.K. Study of selective automatic reclosing on cable-overhead lines. The 20th International Conference on “Technical and Physical Problems of Engineering” 31 October 2024 International Organization of IOTPE. pp.53-57 <https://www.iotpe.com/ICTPE/ICTPE-2024/ConferenceProgram.html> ISSN 2309-0553 IOTPE.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА КАБЕЛЕЙ С СШИТОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

АХМЭДОВ Э.Н., МУХТАРОВА К.М.

Статья посвящена вопросам оценки срока службы кабелей с сшитой полиэтиленовой изоляцией. Несмотря на высокие механические и электрофизические свойства, сшитый полиэтилен в процессе эксплуатации подвергается деградации, что отрицательно влияет на его электрические свойства. Прогнозирование остаточного ресурса изоляции сшитого полиэтилена — один из ключевых факторов надежной работы электросетей. В данной работе проанализированы основные факторы, влияющие на срок службы кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, математические модели, описывающие процессы изнашивания, и определен ресурс кабеля на основе уравнения Аррениуса.

Ключевые слова: изоляция кабеля, сшитый полимер, термический износ, остаточный ресурс изоляции.

DETERMINATION OF THE RESIDUAL LIFE OF CABLES WITH CROSS- LINKED POLYETHYLENE INSULATION

AHMEDOV E.N., MUKHTAROVA K.M.

The article is devoted to the issues of assessing the service life of cables with cross-linked polyethylene insulation. Despite its high mechanical and electrophysical properties, cross-linked polyethylene is subject to degradation during operation, which negatively affects its electrical properties. Predicting the residual life of cross-linked polyethylene insulation is one of the key factors for the reliable operation of power grids. This paper analyzes the main factors affecting the service life of cables with cross-linked polyethylene insulation, examines mathematical models describing wear processes, and determines the cable life based on the Arrhenius equation.

Keywords: cable insulation, cross-linked polymer, thermal wear, residual life of insulation.

DOI:10.70784/azip.5.2025137

EVALUATION AND FORECAST OF AFRICA'S PHOTOVOLTAIC (PV) SOLAR ENERGY: CONSUMPTION AND DEMANDS**DAGAL I.D., NAYIR A.R., TANRIÖVEN K.M.**

Beykent University, Faculty of Engineering and Architecture, Electrical and Electronics Engineering Department, Ayazağa Mahallesi, Hadim Koruyolu Cd. No:19, Sarıyer/ İstanbul/ Türkiye
idrissdagal@beykent.edu.tr
ahmetnayir@beykent.edu.tr
kursattanrioven@beykent.edu.tr

Growth prospects for solar photovoltaics (PV) in Africa are optimistic. Factors such as solar resource potential, technological advances, capacity building and skills development, market demand and energy access, climate change mitigation, and sustainability goals, among others, influence the growth in capacity and deployment of solar PV in Africa. These factors interact in complex ways and vary across African countries and regions, shaping the trajectory of solar PV growth on the continent. Countries must therefore strive to increase energy security, promote economic development, and mitigate the effects of climate change. Significant growth is expected between 2020 and 2050 due to the abundance of solar energy resources, falling costs of solar technology, and rising energy demand driven by economic and population growth.

Keywords: photovoltaic, solar energy, African energy demands, efficiency

I-INTRODUCTION

Africa is the world's second-largest continent in terms of surface area and population. Here is some general information on the African continent's size, approximate population, and geographical distribution. It has a total surface area of around 30.37 million square kilometers and a population of around 1.4 billion (in 2023). Africa is generally divided into five geographical sub-regions: North Africa, West Africa, Central Africa, East Africa, and Southern Africa. The energy problem is a phenomenon that affects all regions of the continent and varies according to each country within its region. The energy sector in African countries is heavily dependent on traditional sources such as coal, natural gas, and oil, which collectively constitute nearly 80% of the entire energy generation [1]. This dependence poses challenges and opportunities for the continent's energy transition, particularly in the growing adoption of renewable energies. While Africa's energy sector remains heavily dependent on traditional sources, there is a significant opportunity to diversify and transition to renewable energies. This transition not only addresses environmental concerns but also enhances energy security and supports economic development. This means that there is significant technical potential to harness solar energy using existing technologies such as photovoltaic (PV) systems and concentrated solar power (CSP) [2]. The adoption of these technologies can play a pivotal role in transforming the energy landscape in Africa. There is enormous technical potential for harnessing solar energy in Africa using PV and CSP technologies. By using these available technologies, African countries can significantly advance their energy transition, improve access to electricity, and achieve greater sustainability. Following [1], energy access in Africa encounters numerous challenges, including inadequate technology and capacity development, unfeasible renewable energy policies, insufficient financial support and high lending rates, unsteady economies, and limited foreign investment. Consistent with efforts aimed at achieving Agenda 2050 and Aspiration 1.7 of Africa's Agenda 2063 [3]. Similarly, the study has addressed specific aspects of the dynamics of the African economy, and a comprehensive understanding of these dynamics will accelerate the achievement of the UN's Sustainable Development Goals (SDGs) and Agenda 2063 by 2030 [4]. In recent years, the use of renewable energies has gained momentum worldwide due to the decline of fossil fuels, environmental deterioration, and the assertion that it can enhance the quality of life in third-

world countries [4]. To foster accessibility to inexpensive, dependable, environmentally friendly, and contemporary energy by 2030, African governments should lively stimulate trade and business freedom to increase the proportion consumption of renewable energy [5].

II- AFRICA COUNTRY SPECIFIC INSIGHTS

The security of electricity supply is a critical consideration for investors evaluating risks in emerging markets and developing economies. Frequent electricity outages lead to significant efficiency losses and increased costs for backup generation, posing substantial challenges for economic development. The Sustainable Africa Scenario (SAS) addresses these issues by proposing a comprehensive strategy to enhance grid reliability and integrate renewable energy sources. The Energy Service Company (ESCO) model, in which ESCOs provide energy efficiency improvements and are compensated based on the energy savings achieved, has not yet gained widespread use in Africa. However, the establishment of public sector "Super ESCOs" has the potential to catalyze the growth of energy efficiency markets across the continent. The Super ESCO model has the potential to significantly enhance energy efficiency in Africa, providing both technical and financial support to government entities and private ESCOs. The success of initiatives in Morocco and the AfDB's Africa Super ESCO Acceleration Programme demonstrates the viability and benefits of this approach. By addressing challenges related to market development, financial barriers, and regulatory support, the Super ESCO model can drive substantial improvements in energy efficiency across the continent, contributing to economic development and environmental sustainability. Article 6 of the Paris Agreement provides mechanisms for countries to cooperate on their climate targets through market-based approaches. This allows countries to trade emission reductions, potentially creating significant financial flows to support clean energy investments. In recent years, many African countries have shown interest in participating in these mechanisms, particularly as sellers of credits. The implementation of Article 6 presents a significant opportunity for African countries to generate substantial financial flows and achieve considerable emission reductions. By effectively leveraging these mechanisms, African nations can attract critical investments for clean energy projects, making them more bankable and accelerating the transition to a sustainable energy future. To fully realize this potential, countries need to focus on capacity building, establish robust policy frameworks, foster regional cooperation, and integrate into international carbon markets. This strategic approach will ensure that the benefits of Article 6 are maximized, supporting both economic development and climate goals in Africa. The Africa Mini-grids Programme (AMP) under the Global Environment Facility's seventh replenishment (GEF-7) aims to improve the financial viability of renewable energy mini-grids across Africa. This initiative seeks to provide sustainable energy solutions to underserved and remote areas, contributing to universal energy access and supporting the transition to clean energy. The Africa Mini-grids Programme (AMP) under GEF-7 represents a crucial initiative to enhance the financial viability and scalability of renewable energy mini-grids across Africa. By addressing key barriers such as high costs, lack of investment, and regulatory challenges, the AMP aims to provide sustainable energy solutions that contribute to universal energy access and the broader transition to clean energy. Through technical assistance, policy support, innovative technologies, and community engagement, the AMP seeks to create a conducive environment for the widespread deployment of renewable energy mini-grids, ultimately fostering sustainable development and economic growth across the continent.

Electricity Outages and Economic Impact

- **Efficiency Losses:** Companies in emerging markets face efficiency losses and costs totaling nearly USD 1.3 trillion by 2030 due to electricity outages.
- **Backup Generation:** High reliance on fossil-fuel generators and rooftop solar as alternatives to unreliable grid supply increases costs and strains utilities.

- **South Africa:** Leading the continent in installed PV capacity, driven by supportive policies and a strong commitment to renewable energy.
- **Egypt:** Significant potential with ambitious solar targets and large-scale projects like the Benban Solar Park.
- **Morocco:** Focus on becoming a renewable energy hub with projects like the Noor Solar Complex.
- **Case Study: Morocco**
- **Public Super ESCO:** In February 2021, Morocco transitioned an existing entity into a public Super ESCO with the help of a technical assistance grant from the African Development Bank (AfDB). This Super ESCO focuses on energy efficiency in public buildings and street lighting and will expand to industry and transport projects.
- **Private Super ESCO:** The Africa Energy Efficiency Fund, established in 2023, acts as a project aggregator with a standardized tendering process and offers 100% non-recourse financing with shared savings.
- **Nigeria:** High potential for off-grid solar solutions to address widespread energy access issues.
- **Case Study: Nigeria**
- **Dependency on Backup Generation:** 40% of electricity consumed in Nigeria comes from backup generators.
- **Cost Increases:** Between 2021 and 2022, electricity costs for Nigerian consumers using a mix of grid and backup generation rose by 150% to 170%. For those relying solely on diesel generators, costs increased by 220% to 260%.
- **Financial Potential and Emission Reductions**
- **Revenue Generation:** An assessment of the International Energy Agency's (IEA) Africa Energy Outlook 2022 suggests that Article 6 could generate USD 225-245 billion by 2030 for African countries.
- **Emission Reductions:** The implementation of Article 6 could help reduce 3,500-3,850 million tons of CO₂ compared with scenarios without Article 6 cooperation over the same period.

III- CURRENT STATE OF PV SOLAR ENERGY IN AFRICA

Africa, with its vast and largely untapped solar energy potential, is poised to become a significant player in the global photovoltaic (PV) solar energy market. The continent's high solar irradiance, coupled with increasing energy demands and the need for sustainable energy solutions, makes PV solar energy a promising avenue for development. The Sustainable Africa Scenario (SAS) outlines a pathway for doubling energy investment in Africa, emphasizing the need for innovative solutions to mobilize capital from various sources, including national governments, development finance institutions (DFIs), and private capital. By 2030, private capital's contribution is expected to increase sixfold from current levels, but effective deployment requires targeted interventions. Meanwhile, grants and concessional funding remain crucial in specific countries and sectors. Achieving the goals of the Sustainable Africa Scenario requires a coordinated effort to mobilize capital from diverse sources. By addressing affordability constraints, ensuring equitable investment distribution, fostering private sector participation, and leveraging Africa's natural resources, the continent can meet its energy needs sustainably and drive economic growth. Strategic use of concessional funding and innovative financing models will be crucial in overcoming current challenges and achieving long-term energy security and sustainability. Ensuring the security of electricity supply in Africa under the Sustainable Africa Scenario requires a multifaceted approach. By investing in grid infrastructure, diversifying sources of flexibility, promoting cross-border electricity trade, and mobilizing capital through innovative financing models, Africa can overcome current challenges and build a resilient and reliable electricity system. This will not only enhance

economic development but also support the integration of renewable energy sources, contributing to global sustainability goals.



Fig.1. Share of global population with access to electricity in 2021(World Bank 2023).

Green banks and facilities play a pivotal role in financing sustainable development projects by mobilizing private capital, offering financial instruments, and providing technical assistance. Africa currently hosts two major green banks: the Climate Finance Facility (CFF) of the Development Bank of South Africa and Rwanda’s Green Fund (FONERWA). The African Development Bank (AfDB) is also spearheading initiatives to establish more green facilities across the continent. The establishment and expansion of green banks and facilities in Africa represent a significant step towards mobilizing private capital for sustainable development. The Climate Finance Facility and Rwanda’s Green Fund have set a precedent, and the AfDB’s African Green Bank Initiative is poised to further enhance green financing across the continent. By providing financial instruments, and technical assistance, and fostering local banking sector involvement, these institutions can play a crucial role in achieving sustainable development goals in Africa.

AfDB’s African Green Bank Initiative

Target Countries: Benin, Ghana, Mozambique, Tunisia, Uganda, and Zambia.

Funding: In May 2023, AfDB announced USD 1.6 million secured for the first two facilities under this initiative.

Hosts: The facilities will be housed at La Caisse des Depots et Consignations du Benin and the Ivorian National Investment Bank.

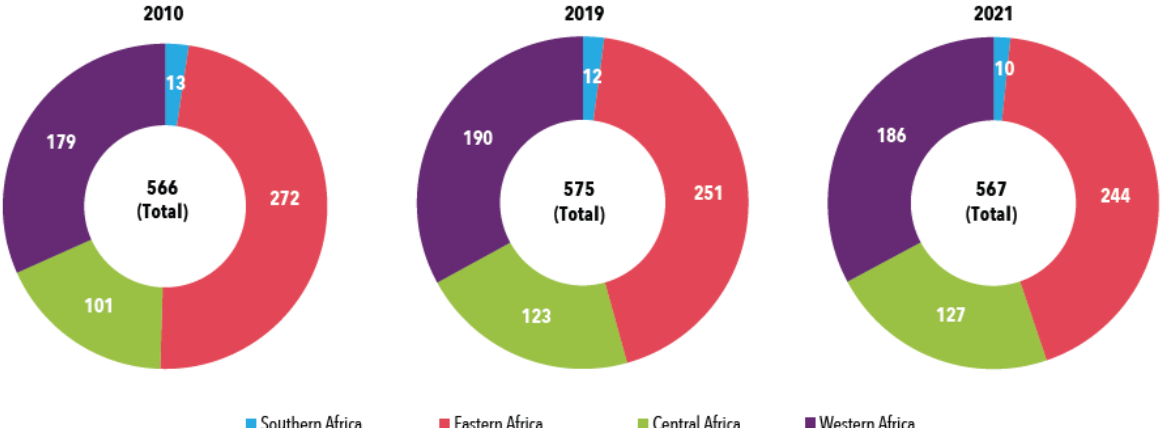


Fig.2. Number of people in Sub-Saharan Africa without access to electricity, by subregion, for the years 2010, 2019, and 2021 (in millions) (World Bank 2023).

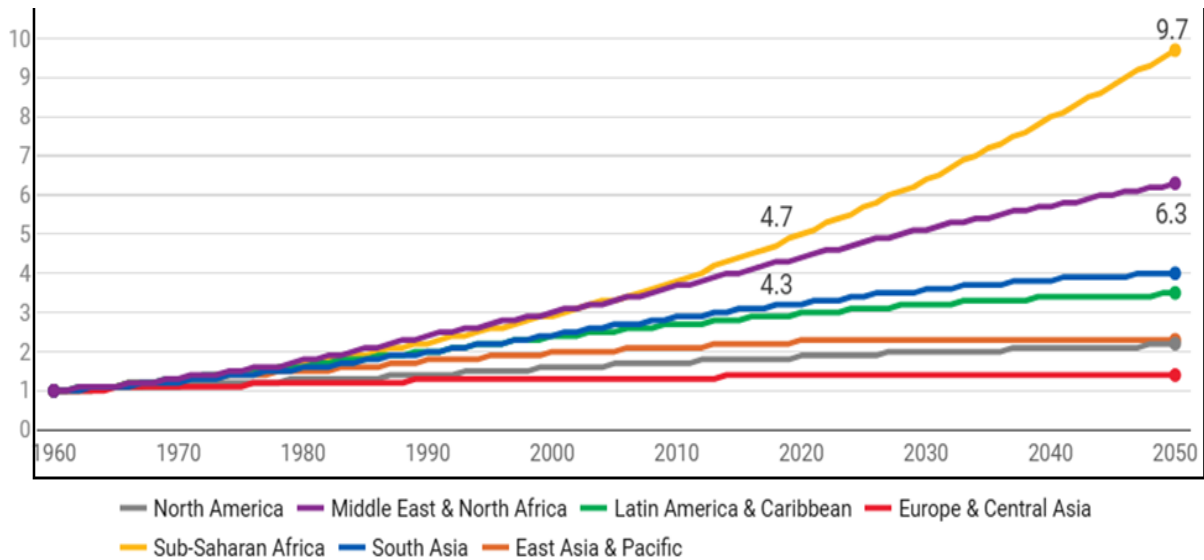


Fig. The population in Sub-Saharan Africa is projected to grow 10-fold between 1960 and 2050 (Source: Health Stats Population Estimates and Projections database (SP.POP.TOTL)).

Table: 2 World and Africa Capacity Summary (MW).

Here is a summary of the global and African capacity (CAP) in megawatts (MW) for the years 2014 to 2023

World and Africa Capacity Summary (MW)

Year	World	Africa
2014	176,159	1,503
2015	224,207	1,846
2016	296,215	2,921
2017	391,245	4,581
2018	486,828	7,038
2019	589,114	8,327
2020	721,989	9,671
2021	867,482	10,550
2022	1,066,559	11,617
2023	1,412,093	12,394

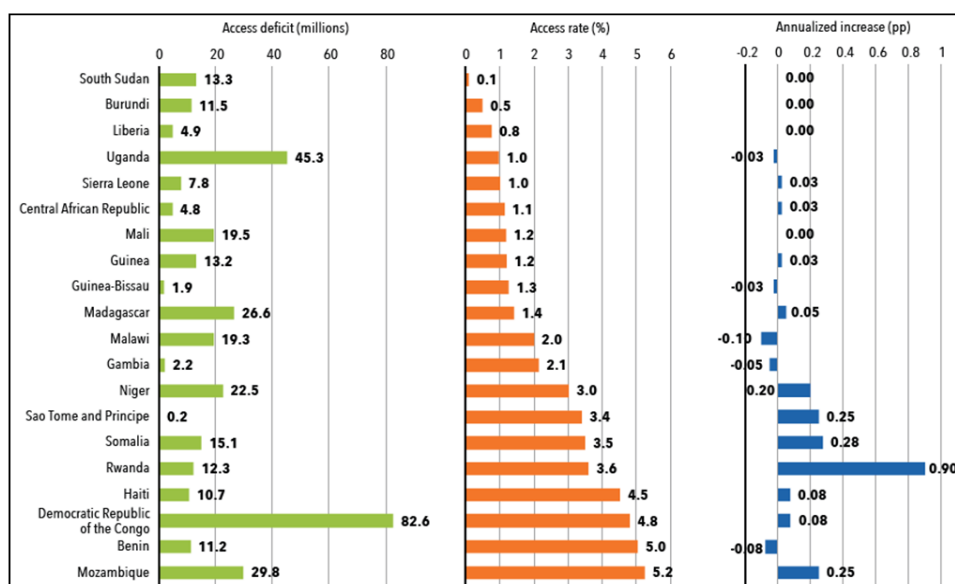


Fig.4 The 20 countries with the lowest access rates to clean fuels and technologies (orange), 2017-2021 average (WHO 2023), pp = percentage point.

Table: 1 Evaluation and projection of Africa's Photovoltaic (PV) Solar Energy Demands: 2020 to 2050.

Year	Installed PV Capacity	Electricity Generation	Driving Factors
2020-Current state	Approximately 6 GW	Around 9 TWh (Terawatt-hours).	Limited, with most energy needs met by fossil fuels and hydroelectric power. Minor, with fossil fuels being the dominant source of energy.
2020-2030	2025: Expected to reach 25-30 GW 2030: Projected to be around 70-90 GW.	2025: Approximately 35-45 TWh. 2030: Around 100-130 TWh.	Decreasing costs of solar technology. Government policies promoting renewable energy. Increasing energy demand due to population growth and urbanization. International investments and partnerships. Significant increase as countries adopt more renewable energy policies and investments in solar infrastructure grow.
2030-2040	2035: Expected to reach 150-180 GW 2040: Projected to be around 200-250 GW	2035: Approximately 200-250 TWh 2040: Around 300-400 TWh	Continued technological advancements in PV efficiency. Expansion of grid infrastructure to integrate renewable sources. Increased emphasis on energy security and sustainability. Solar energy has become a major player in Africa's energy landscape, reducing reliance on fossil fuels and enhancing energy security.
2040-2050	2045: Expected to reach 300-350 GW 2050: Projected to be around 350-450 GW	2045: Approximately 500-600 TWh 2050: Around 600-800 TWh	Maturing the solar market with widespread adoption. Enhanced energy storage solutions improving reliability. Stronger regional cooperation and integration of energy markets. Solar energy has become a cornerstone of Africa's energy system, potentially supplying over 40-50% of the continent's electricity needs.

Conclusion

Africa's demand for photovoltaic solar energy is projected to grow exponentially from 2020 to 2050, driven by favorable natural conditions, economic development, and supportive policies. By 2050, solar energy is expected to contribute to the continent's energy mix, significantly enhancing energy security and supporting sustainable development goals. Addressing infrastructure, financing, regulatory, and technical challenges will be crucial to realizing this potential.

Africa's PV solar energy sector is poised for significant growth, driven by abundant solar resources, rising energy demands, and supportive policies. While challenges remain, the outlook is promising with substantial opportunities for investment and development. By harnessing its solar potential, Africa can achieve greater energy security, economic development, and environmental sustainability.

Future Forecast

- Growth Projections:** Africa's PV capacity is expected to grow substantially, potentially reaching over 70 GW by 2030. This growth will be driven by both large-scale solar farms and decentralized, off-grid solutions.
- Investment Opportunities:** Investment in Africa's solar sector is forecasted to increase, with opportunities for private sector participation, public-private partnerships, and international funding.
- Technological Advancements:** Continued advancements in PV technology, such as higher efficiency panels and energy storage solutions, will enhance the viability and reliability of solar energy.
- Policy and Regulatory Support:** Strengthening policies and regulatory frameworks will be crucial in supporting and accelerating PV solar energy deployment.

1. *Amir, M.; Khan, S.Z.* Assessment of renewable energy: Status, challenges, COVID-19 impacts, opportunities, and sustainable energy solutions in Africa. *Energy Built Environ.* 2022, 3, 348–362.
2. *Ju, X.; Xu, C.; Hu, Y.; Han, X.; Wei, G.; Du, X.* A review on developing photovoltaic/concentrated solar power (PV-CSP) hybrid systems. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 2017, 161, 305–327.
3. *John A. Jinapor, Shafic Suleman, and Richard Stephens Cromwell.* Energy Consumption and Environmental Quality in Africa: Does Energy Efficiency Make Any Difference? *Journal of Sustainability (MDPI)*. 3:15, PP.2375. 2023.
4. *Hassan Qudrat-Ullaha, Chinedu Miracle Nevo.* The impact of renewable energy consumption and environmental sustainability on economic growth in Africa. *Journal of Energy Reports*, 7, 3877-3886, 2021.
5. Anthony Amoah, Edmund Kwablah, Kofi Korle & Daniel Offei. Renewable energy consumption in Africa: the role of economic well-being and economic freedom. *Journal of Energy, Sustainability and Society*. 10, 1-17, 2020.

AFRİKANIN FOTOVOLTAİK (PV) GÜNƏŞ ENERJİSİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ VƏ PROQNOZU: İSTİFADƏ VƏ TƏLƏBLƏR

DAGAL İ.D., NAYIR A.R., TANRIÖVEN K.M.

Afrikada günəş fotovoltaiklərinin (PV) artım perspektivləri nikbindir. Günəş enerjisi potensialı, texnoloji irəliləyişlər, potensialın yaradılması və bacarıqların inkişafı, bazar tələbi və enerjiyə çıxış, iqlim dəyişikliyinə azaldılması və davamlılıq məqsədləri kimi amillər Afrikada günəş PV-nin tutumunun artmasına və yerləşdirilməsinə təsir göstərir. Bu amillər kompleks şəkildə qarşılıqlı təsir göstərir və qitədə günəş PV artımının trayektoriyasını formalaşdırmaqla Afrika ölkələri və regionları arasında dəyişir. Buna görə də ölkələr enerji təhlükəsizliyini artırmağa, iqtisadi inkişafı təşviq etməyə və iqlim dəyişikliyinə təsirlərini yumşaltmağa çalışmalıdırlar. 2020-2050-ci illər arasında günəş enerjisi ehtiyatlarının bolluğu, günəş texnologiyasının ucuzlaşması və iqtisadi və əhəlinin artımı nəticəsində enerjiyə tələbatın artması səbəbindən əhəmiyyətli artım gözlənilir.

Açar sözlər: fotovoltaiq, günəş enerjisi, afrika enerji tələbləri, səmərəlilik.

ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ (PV) СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В АФРИКЕ: ПОТРЕБЛЕНИЕ И СПРОС

ДАГАЛ И.Д., НАЙИР А.Р., ТАНРИОВЕН К.М.

Перспективы роста солнечной фотоэлектрической (PV) энергетики в Африке оптимистичны. Такие факторы, как потенциал солнечных ресурсов, технологический прогресс, наращивание потенциала и развитие навыков, рыночный спрос и доступ к энергии, смягчение последствий изменения климата и цели устойчивого развития, среди прочих, влияют на рост мощности и развертывание солнечной фотоэлектрической энергетики в Африке. Эти факторы взаимодействуют сложным образом и различаются в разных странах и регионах Африки, формируя траекторию роста солнечной фотоэлектрической энергетики на континенте. Поэтому страны должны стремиться к повышению энергетической безопасности, содействию экономическому развитию и смягчению последствий изменения климата. Значительный рост ожидается между 2020 и 2050 годами из-за обилия ресурсов солнечной энергии, снижения стоимости солнечных технологий и растущего спроса на энергию, обусловленного экономическим и демографическим ростом.

Ключевые слова: фотоэлектричество, солнечная энергия, потребности африки в энергии, эффективность.

DOI:10.70784/azip.5.2025144

İNTELLEKTUAL GİRİŞ-NƏZARƏT SİSTEMLƏRİNİN TƏHLİLİ VƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

HÜSEYNOV B.Q., HƏŞİMOV X.X.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20, Bakı,
Azərbaycan, AZ1010
xanlar.hashimov.x@asoiu.edu.az*

Bu tədqiqat intellektual giriş-nəzarət sistemlərinin mövcud vəziyyətini və onların təkmilləşdirilmə yollarını təhlil edir. Mövcud sistemlər fəvqəladə halları nəzərə almaqda və effektiv nəzarəti təmin etməkdə kifayət qədər səmərəli deyil. Yeni yanaşma olaraq, kompüter görmə və müasir sensor texnologiyalarından istifadə edən, ayrılma prinsipinə əsaslanan iki hissəli model təklif edilir. Bu model müşahidə olunan obyektlərin real vaxt rejimində vəziyyətini qiymətləndirir və qeyri-səlis məntiq sistemlərindən istifadə edərək optimal idarəetməni təmin edir. Yeni həllər nəqliyyat vasitələri və fiziki şəxslərin identifikasiyasını, qorunan ərazilərə girişin məhdudlaşdırılmasını və vəziyyətin avtomatik analizini əhatə edir. Təklif olunan model giriş-nəzarət sistemlərinin təhlükəsizliyini və funksionallığını artıraraq, idarəetmənin səmərəliliyini yüksəldir.

Açar sözlər: müəssisə, idarəetmə sistemi, intellektuai, obyekt, proses, model, sənaye

Giriş. Bu gün sənayedə nasos qurğularının, generatorun gərginliyinin və digər texniki obyektlərin idarə edilməsi üçün intellektual texnologiyaların aktiv tətbiqi müşahidə olunur [1].

Obyektlərin tanınması ilə kompüter görmə sistemləri və intellektual texnologiyaların tətbiqi sənayedə mövcud bir çox problemlərin həllinə imkan yaradır [2].

Müəssisələrin avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemi (MAİS) ənənəvi olaraq texnoloji proseslərin, maliyyə, logistika və personalın idarə olunması alt sistemlərindən ibarətdir. Bu alt sistemlərdən biri olan giriş-çıxışa nəzarət və idarəetmə alt sistemi infrastruktur obyektlərinin mühafizəsini və onların üzərində nəzarəti təmin edir.

Şəkil 1. - də tipik müəssisə ərazisi təsvir edilmişdir. Rəqəmlərlə məhdud girişə malik obyektlər göstərilmişdir. Şəkildə aşağıdakılar göstərilmişdir:

1-Müəssisəyə girişlər, 2- nəzarət-buraxılış məntəqələri, 3- təhlükəsizlik sahələri, 4- zavod idarəetmə binasında giriş-çıxışa nəzarət sisteminin (GÇNS) giriş nöqtələri, 5- giriş-çıxışa nəzarət sisteminin serveri, 6- uzaqdan keçid yeri, 7-keçid bürosu, 8- mühasibatlıq.



Şək.1. Standart müəssisənin ərazisi.

Giriş-çıxışa nəzarət və idarəetmə sistemi (GÇNİS) ГОСТ Р 51241-2008 standartına uyğun olaraq, texniki, informasiya, proqram və istismar baxımından uyğunluğa malik nəzarət və idarəetmə vasitələrinin birləşməsidir.

Bu zaman giriş-çıkışa nəzarət və idarəetmə vasitələri dedikdə, nəzarət və idarəetmə proseslərinin həyata keçirilməsini təmin edən istənilən mexaniki, elektromexaniki, elektrik, elektron qurğular, konstruksiyalar və proqram vasitələri nəzərdə tutulur.

GÇNİS-nin əsas funksiyaları:

- Obyektin ərazi bütövlüyünə nəzarət və idarəetmə; İcazəsiz girişin və şəxslərin, nəqliyyatın hərəkətinin qarşısını almaq; Yanğın təhlükəsizliyinə nəzarət.

GÇNİS aşağıdakı vəzifələri həll edir:

Sənaye casusluğu, oğurluq, sabotaj və maddi dəyərlərin zədələnməsinin qarşısını almaq; İş vaxtını qeydiyyatla almaq; Məlumatların məxfiliyini qorumaq; Ziyarətçilərin hərəkətini tənzimləmək; Nəqliyyatın giriş və çıxışını idarə etmək.

Adətən, giriş-çıkışa nəzarət və idarəetmə sistemləri texniki görmə sistemlərinin avadanlığına əsaslanır və bəziləri obyektin identifikasiyası proseslərini avtomatlaşdırmaq üçün müasir kompüter görmə alqoritmlərindən istifadə edir. Məsələn, nəqliyyat vasitələrinin giriş-çıkışa nəzarət sistemində insan resurslarının cəlb edilməsindən, kart oxuyucu cihazlar kimi əlavə avadanlıqların quraşdırılmasından və avtomobillərin icazəsiz keçidindən qaçınmaq mümkündür. İntellektual videomüşahidə sisteminin vəzifəsi qeyri-standart vəziyyətləri avtomatik aşkar etmək yolu ilə operatorun yükünü azaltmaqdır [3].

GÇNİS-də yaranan qeyri-standart vəziyyətlər:

İdentifikasiya əlamətlərinin olmaması və ya əvəz olunması; Xarici amillərin təsiri nəticəsində idarə olunan qurğuların sıradan çıxması; Xarici mühit faktorlarının obyektin identifikasiyasının keyfiyyətinə təsiri; Fiziki təsirlərlə maneə qurğularının sındırılması cəhdləri; "İcazəli" şəxslərlə birlikdə "qadağan olunmuş" şəxslərin keçid cəhdləri; Fövqəladə vəziyyətlərin təqlidi yolu ilə sistemin sındırılması cəhdləri.

Bu səbəbdən, belə halların aşkar edilməsi və idarəetmə tədbirlərinin hazırlanması mühüm vəzifələrdən biridir.

Tədqiqat mövzusu istiqamətində mövcud yanaşmaların təhlili.

Hazırda bir-birindən quruluşu, elektromexaniki sistemi, intellektual idarəetmə üsulları, sensor və icra qurğuları dəsti ilə fərqlənən çoxsaylı giriş-çıkışa nəzarət və idarəetmə sistemləri (GÇNİS) mövcuddur. Əsas çətinlik GÇNİS-nin tərkibinə daxil olan avadanlıqların müxtəlifliyidir.

Bu səbəbdən, ən effektiv istiqamət universal aparat-proqram təminatı əsasında idarəetmə yanaşmalarının yaradılmasıdır. Belə yanaşmalar GÇNİS-nin minimal dəyişikliklərlə işləməsi üçün kifayət qədər imkan təmin edir.

GÇNİS təşkil edərkən obyektin identifikasiyası üçün ən çox yayılan üsul RFID (Radio Frequency Identification - radio tezliklə tanıma) radio tezlik etiketlərindən istifadədir [4]. Lakin yalnız bu texnologiyadan istifadə bir sıra aşağıdakı çatışmazlıqları qeyd etmək lazımdı:

- Etiket kopyalana və ya oğurlana bilər;
- Yüksək tətbiq və texniki xidmət xərcləri;
- Oxuma üçün əlavə əməliyyatların tələb olunması və s.

GÇNİS-nin effektivliyini artırmaq üçün hibrid texnologiyalardan istifadə olunur, bunlara RFID etiketi ilə kompüter görmə üsullarının birləşdirilməsi daxildir. Həmçinin, intellektual video analitikaya əsaslanan yanaşmalar geniş tətbiq edilir. Maraqlı həll yollarından biri süni intellekt və kompüter görmə texnologiyalarını birləşdirən kombinə edilmiş sistemlərin yaradılmasıdır.

Kompleks təhlükəsizliyin təmin olunması üçün ən yaxşı həll yollarından biri, müasir kompüter görmə üsullarını tətbiq edən videomüşahidə sistemi əsasında mərkəzləşdirilmiş intellektual GÇNİS-ni qurmaqdır. Bu üsul fiziki və texniki obyektlərin (məsələn, avtomobillər, insanlar, velosipedlər və s.) təsnifləşdirilməsinə və onların unikal əlamətlərlə (məsələn, üz cizgiləri, avtomobil nömrələri) identifikasiyasına imkan verir.

Bu halda, iki əsas vəzifəni nəzərdən keçirmək olar:

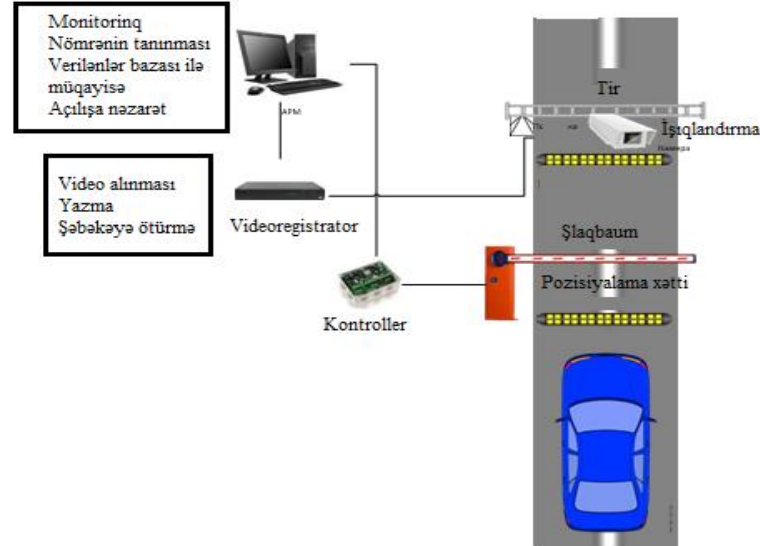
1. Texniki obyektlər üçün GÇNİS qurmaq;

2. Fiziki obyektlər üçün GÇNİS qurmaq.

Texniki obyektlərin tanınması üçün aşağıdakı avadanlıqlar tələb olunur:

- Mühafizə olunan əraziyə girişdə quraşdırılan küçə kameraları;
- İdarə olunan qurğular (şlaqbaum/qapılar, xarici işıqlandırma, qızdırıcılar);
- Şəraitin monitorinqi üçün sensorlar;
- Qeyri-səlis məntiq qaydalarına əsaslanaraq videoyazıları emal edən, təsvirləri tanıyan və idarəetmə tədbirlərini həyata keçirən server.

Texniki obyektlər üçün tipik keçid məntəqəsinin sxemi 2.-ci şəkildə göstərilib.



Şək.2. Texniki obyektlər üçün tipik yoxlama məntəqəsi diaqramı.

İnsanların üzdən tanınması problemini həll etmək üçün aşağıdakı avadanlıq lazımdır [29]:

- binanın girişində quraşdırılmış daxili kameralar;
- idarə olunan cihazlar (turniketlər, xarici işıqlandırma);
- şəraitin monitorinqi üçün sensorlar;
- video axınıni emal edən, şəkilləri tanıyan və qeyri-səlis məntiq qaydalarına əsaslanan nəzarət hərəkətləri yaradan server.

Bir çox iş və patentlər sənaye müəssisələri üçün effektiv giriş-nəzarət sistemlərinin inkişafına həsr edilmişdir.

[5] nömrəli iş özündə mobil telekommunikasiya cihazı, istifadəçi identifikatoru, simsiz interfeys, elektron oxucu, NFC interfeysi, giriş nöqtəsi ID, simsiz interfeys, telekommunikasiya infrastrukturu, şəbəkə interfeysi, Wiegand interfeysi, açar, nəzarətçi, giriş nöqtəsi, aktuatordan ibarət sistemi təqdim edir. Bununla belə, belə bir sistem təcavüzkarın təhdidlərinə həssasdır.

İş [5] -də nəqliyyat vasitəsinin identifikasiya nömrəsinin tanınması sistemləri ilə təchiz edilmiş obyektlər üçün giriş nəzarətin avtomatlaşdırılmasının təmin edilməsi metodunu təqdim edir. Bununla belə, bu sistem yalnız bir identifikasiya xüsusiyyətini tanıyır və səs-küylü nömrələrə davamlı deyil.

[6] cı işdə avtomatlaşdırılmış avtomobil dayanacağına nəzarət cihazı fəvqəladə halları nəzərə almır.

Kommersiya bazarı dəqiqliyi, siqnalın işlənməsi sürəti və nəticə etibarilə dəyəri ilə fərqlənən nəqliyyat vasitələrinə giriş nəzarət və idarəetmənin təşkili üçün müxtəlif hazır aparat və proqram təminatı həlləri təklif edir. Nömrənin tanınması üçün kommersiya həlli lövhə tanıyıcı, 90-dan çox ölkəni dəstəkləyir. Nəqliyyat vasitəsinin tanımaq üçün biri nömrə nişanını axtarmaq, digəri simvolları aşkar etmək və tanımaq üçün 2 neyron şəbəkədən istifadə olunur.

"OpenALPR – açıq sistem avtomatik nömrə nişanlarını tanımaq üçündür. Lakin github.com-da olan mənbə kodlarına əsasən, sistem əsas olaraq TesseractOCR kitabxanasını istifadə edir, bu isə qrafik sürətləndiricilərdə hesablama aparmağa imkan vermir. GÇNİS-nin

vəzifəsi yalnız obyektin identifikasiyası deyil, həm də növbəti qərarların qəbul edilməsi və ya idarəetmə üçün qeyri-standart vəziyyətlərin tanınmasıdır. Qeyri-standart vəziyyətlərə misallar ola bilər: nömrə nişanının olmaması və ya saxtalaşdırılması, düzgün oxunmayan simvollar və s.

Təklif olunan işlərin əsas çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, tədqiqat daha çox identifikasiya xarakteristikasının əldə edilməsi prosesinə və daha az dərəcədə giriş nəzarət sistemləri ilə qarşılıqlı əlaqəyə yönəldilmişdir. Eyni zamanda, bəzi alqoritmlər hesablama resurslarına yüksək tələblər qoyur ki, bu da onlardan RT (real-time) rejimində istifadəni çətinləşdirir.

Təqdim olunan kommersiya həlləri müasir giriş-nəzarət sistemlərinin tələblərinə cavab vermir və yaranan fəvqəladə hallar əməliyyat xətalmasına səbəb olur. Beləliklə, bu çatışmazlıqlardan azad olan giriş nəzarət sistemlərinin hazırlanmasına ehtiyac var.

Biliklərə əsaslanan idarəetmə sistemləri «biliklər bloku»nu əhatə edir, bu blokun daxili strukturu mürəkkəb ola bilər. Məsələn, biliklərin saxlanması, çıxarılması, dəyişdirilməsi/aktualaşdırılması və s. daha ümumi kateqoriya isə ağıllı idarəetmə sistemləridir (AİS). AİS-lərin yaranması və istifadəsinin səbəbləri bunlar ola bilər: obyektin idarə edilməsinin güclü qeyri-xətti olması, obyektin idarə edilməsinin və ya xarici mühitin modelinin olmaması, insan-operatorunun zəif formalizə edilmiş təcrübəsinin əhəmiyyəti və s. Biliklər qiymətləndirmə/identifikasiya zamanı istifadə olunur. Nümunə olaraq, xarici mühitin vəziyyətlərini təsnif etmək üçün ekspert sistemlərdən istifadə göstərilə bilər.

İntellektual sistemlər və idarəetməni xarakterizə edən əsas kateqoriyalar:

- Ekspert sistemləri (klassik məntiqi nəticə çıxarma və ya digər nəticə qaydalarından istifadə edənlər); Qeyri-səlis məntiq; Süni neyron şəbəkələri (SNS), immun, Bayes və digər şəbəkələr; Genetik alqoritmlər (GA) – lokal optimallaşdırma üçün bir sinif hevristik metodlar və təkamül hesablamaları; Yumşaq hesablamalar; Koqnitiv xəritələr.

[6]-də qeyri-səlis məntiq nəzarətçisinə əsaslanan elektrik ötürücü idarəetmə sistemi təklif olunur. Qeyri-səlis məntiq nəzarətçisinin istifadəsi işçiləri dəyişdirərkən fırlanma momentinin dalğalanmasını azaltmağa imkan verir.

Başqa bir məqalədə idarəetmə sistemlərində qeyri-səlis məntiq nəzarətçisindən istifadə məsələləri araşdırılır və istifadə olunan model və alqoritmlərin müxtəlif obyekt və sistemlərə uyğunlaşdırılması problemlərinin həlli üçün intellektual idarəetmə texnologiyaları sahəsində mövcud tədqiqat metodları təhlil edilir. Qeyri-səlis kontrollerlərdən istifadə imkan verir: klassik kontrollerlərlə müqayisədə daha yaxşı nəticələr əldə etməyə, adaptiv idarəetmə sistemində qeyri-səlis məntiq nəzarətçisindən istifadə edərkən iqtisadi səmərəliliyin artırılması parametrlərini müəyyən etməyə imkan verir.

[7] nömrəli məqalədə Takagi-Sugeno və Mamdani qeyri-səlis kontrollerlərinin obyektlərin avtomatik idarə olunması üçün işi müzakirə olunur. Əldə edilən nəticələrə əsaslanaraq belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, qeyri-səlis idarəetmənin istifadəsi, kifayət qədər sadə riyazi model mövcud olmadıqda mürəkkəb proseslər üçün tövsiyə olunur.

[7] nömrəli işdə müəlliflər qeyri-səlis PID-tənzimləyicilərin strukturu və hazırlanma prinsiplərini təhlil edirlər. Bu tənzimləyicilər ardıcıl PID-tənzimləyicilərin təbii inkişafı kimi qəbul edilə bilər. Qeyri-səlis PID-tənzimləyicinin sadə dörd addımlı tənzimləmə metodu təklif olunur. Qeyri-səlis tənzimləyici, klassik PID-tənzimləyicidən çox daha yaxşı dinamik xüsusiyyətlər göstərir.

[8] nömrəli işdə mürəkkəb obyektin idarə və sabitləşdirmə adaptiv sisteminin struktur-parametrik sintezi üçün qeyri-səlis məntiq və dəyişən struktur metodlarına əsaslanan yanaşma təklif olunur.

Əldə edilən nəticələrin analizi göstərir ki, iki qaydalar bazasına malik qeyri-səlis ANF-tənzimləyici sistemində keçid prosesinin keyfiyyət göstəriciləri, tək qaydalar bazasına malik qeyri-səlis ANF-tənzimləyici və qeyri-səlis PID-tənzimləyiciyə nisbətən daha yaxşıdır.

[9] nömrəli məqalədə qeyri-səlis məntiq əsasında hazırlanmış kranın idarəetmə kontrolleri təqdim olunur. Kontroller iki qaydalar bazasını əhatə edir: birincisi, arabacığın hərəkətini idarə etmək üçün, ikincisi isə yükün yellənmə prosesini idarə etmək üçündür.

Simulyasiya nəticələri təqdim edilir və bu nəticələr iki bilik bazası ilə işləyən sistemin səmərəliliyini təsdiq edir.

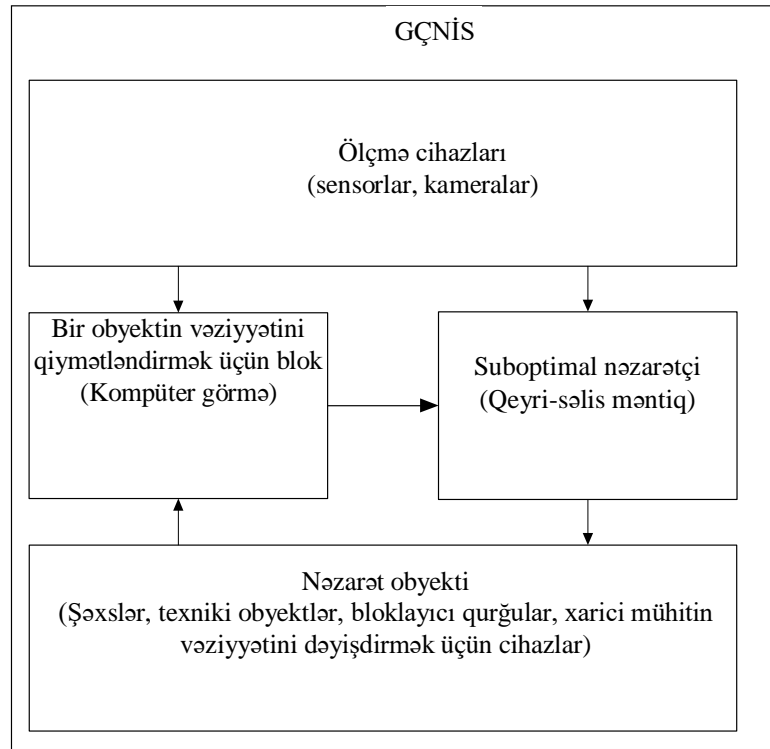
[10] nömrəli işdə qeyri-səlis məntiq və kobud kontroller nəzəriyyəsinə əsaslanan qeyri-səlis məntiqi kontrollerin layihələndirilməsi proseduru təqdim edilir.

Adətən, qeyri-səlis idarəetmə sistemləri Mamdani və ya Sugeno alqoritmləri əsasında qurulur. Sugeno alqoritmi hesablama baxımından daha səmərəli olsa da, Mamdani alqoritmi daha intuitiv və başa düşülən qaydalara malikdir.

Mamdani sistemləri insan ekspertlərinin biliklərinə əsaslanan qaydalar tələb edən ekspert sistemləri üçün daha uyğundur. Mamdani sistemində hər bir qaydanın nəticəsi qeyri-səlis çoxluq şəklində olur.

İntellektual giriş çıxış nəzarət və idarəetmə sxeminin təhlili

Qeyri-səlis məntiq sistemlərindən istifadə etməklə fiziki şəxslərin (işçilərin), texniki obyektlərin (nəqliyyat vasitələrinin) girişinin monitorinqi və idarə edilməsi, normal və fəvqəladə halların müəyyən edilməsi üçün intellektual sistem üçün vahid aparat-program platformasının sxemi təklif olunur.



Şək.3. GÇNİS-nin ümumi sxemi.

Ayrılma prinsipinə uyğun olaraq iki hissədən intellektual giriş-nəzarət sisteminin qurulması təklif edilir. Birinci hissədən istifadə edərək müşahidə olunan obyektin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi problemi həll edilir. İkinci blok qeyri-səlis məntiq sistemindən istifadə etməklə həyata keçirilməsi təklif olunan deterministik suboptimal nəzarətçidir.

Paylanmış müşahidə və idarəetmə obyektinin vəziyyətinin qiymətləndirilməsi problemi hazırda kompüter görmə sistemlərində istifadə olunan müasir təsvirin tanınması texnologiyalarından istifadə etməklə həll edilir.

Kompüter görmə qabiliyyətindən istifadə edərək vəziyyətin qiymətləndirilməsini əldə edirik və universal aparat və program platforması bloklayıcı cihazın idarəetmə vahididir.

Ağıllı giriş idarəetmə sistemi ekspert sistemləri sinfinə aid olacaq. Meyarlara uyğunluq Cədvəl 1.-də verilmişdir.

No	Ekspert sistemi	Təklif olunan ağıllı GÇNİS
1	Mütəxəssisi qismən əvəz edə bilər	Mühafizəçi və avtorizasiya sistemini qismən əvəz edir
2	Verilmiş şərt əsasında həllər tapmağa imkan verir	Verilmiş vəziyyətə uyğun olaraq bloklayıcı qurğunu avtomatik idarə etməyə imkan verir.
3	Məlumat bazası var	Bilik bazası və məlumat bazası var
4	Çıxarış prosedurlarına malikdir	identifikasiya xüsusiyyətləri
5	Proqram təminatı var	Qeyri-səlis nəticədən məntiqi nəticə çıxarmaq üçün qaydalar var Python/C++ dilində mövcud proqram təminatı
6	Qrafik istifadəçi interfeysinə malikdir	Kompüterdən istifadə edən qrafik istifadəçi interfeysi var

İşdə biz, təşkilatın ərazisinə nəqliyyat vasitələrinin daxil olma məsələsini həll etmək üçün kibernetik yanaşma əsasında intellektual GÇNİS-nin struktur sxemini təklif edirik. Bu sxem fiziki şəxslərin daxil olması və normada və qeyri-normada vəziyyətlərin tanınması məsələsinin həlli üçün əsas götürülmüşdür. GÇNİS aşağıdakı elementlərdən ibarətdir: idarəetmə cihazı (İC), idarə olunan maneə cihazı (İMC), müşahidə kamerası (MK) və xarici işıqlandırma cihazları (XİC).

Obyektin yoxlama-keçid nöqtəsində (YKN) meydana gələn zaman ona qorunan əraziyə daxil olmaq icazəsi verilməli və ya qadağan edilməli və hadisə məlumat bazasına (MB) qeyd edilməlidir.

İntellektual giriş-nəzarət sisteminin ümumi sxemini (Şəkil 3.) nəzərə alaraq, qeyri-səlis məntiq və texniki görmə texnologiyalarının nömrə nişanının tanınması ilə birgə istifadəsinə əsaslanan nəqliyyat vasitələrinin girişinə nəzarət və idarəetmə sistemini hazırlamaq lazımdır.

Problemi aşağıdakı kimi formalaşdırmaq olar.

Video görüntüdən mobil nəqliyyat vasitəsinin dövlət nömrəsini tanımaq və qurumun ərazisinə daxil olmaq üçün şlaqbaumun açılması barədə qərar qəbul etmək lazımdır. Baryeri açmaq qərarı müxtəlif hava şəraitində (yağış, güclü yağış, qar, güclü qar, buludlu, aydın), günün vaxtında (səhər, günorta, axşam, gecə) və kəskin küçə temperaturlarında (-40°C) baş verə bilər. Bu maneəyə nəzarət edərkən bu amilləri nəzərə almaq zərurətinə səbəb olur. Məqsəd maneənin optimal iş şəraitini təmin edərək obyektin tanınması üçün parametrlərin tənzimlənməsini avtomatik etməkdir.

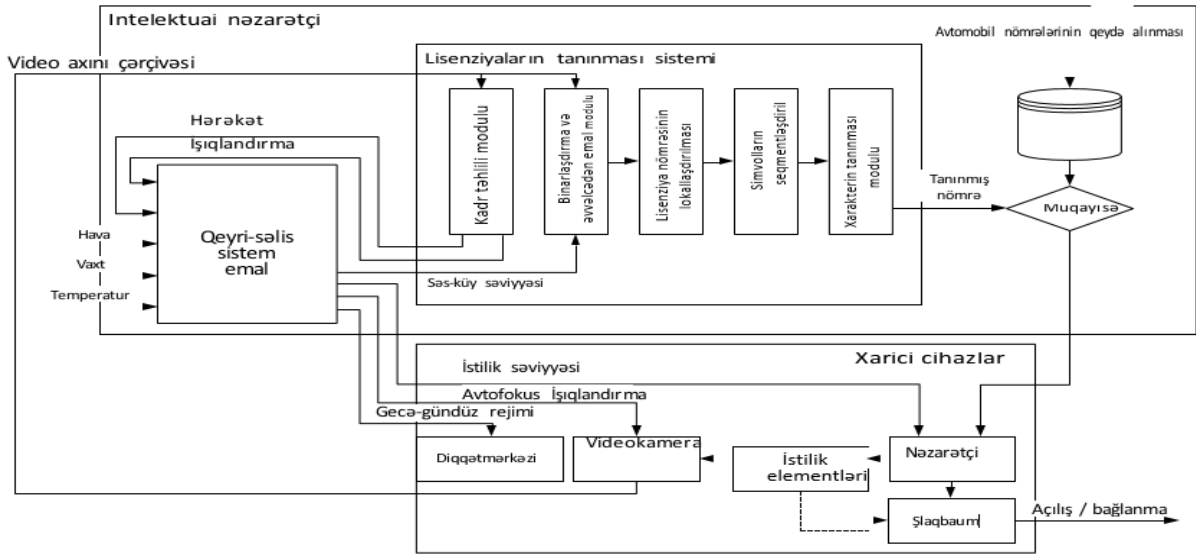
Avtomobilin dövlət nömrə nişanlarını tanıyarkən, giriş təsviri səs-küylü və təhrif oluna bilər, bu da nömrə nişanının tanınmasının keyfiyyətinə təsir göstərir. Aşağıdakı amillər belə təhriflərə səbəb ola bilər:

- işıqlandırmanın normal gündəlik dəyişməsi, süni işıq mənbələrinin görünüşü və ya vəziyyətinin dəyişməsi nəticəsində səhnənin işıqlandırılmasında dəyişikliklər;
- qüsurlu fotosensör və ya müdaxilə nəticəsində yaranan rəqəmsal və analoq səs-küy;
- işıqlandırmanın dəyişməsi, hədəfin hərəkəti və ya gündüz/gecə rejiminin dəyişməsi nəticəsində diqqətin itirilməsi;
- qar, yağış, duman kimi hava hadisələrinin yaratdığı xarici müdaxilə.

Bu amillərin mənfi təsirini azaltmağın yolları nömrəli materialda var. Məsələn, infraqırmızı işıqlandırmanın istifadəsi video kamerasının təbii işığın qeyri-kafi olduğu şəraitdə işləməsinə imkan verir. Eyni zamanda, xarici infraqırmızı işıqlandırıcıdan istifadə videokamerada quraşdırılmış infraqırmızı işıqlandırıcıdan daha effektivdir, çünki kamera görünəndən infraqırmızı spektrə “gündüz/gecə” rejiminə keçəndə fokuslanma nöqtəsi dəyişir. , nəticədə təsvirin aydınlığının itirilməsi, eləcə də fokuslanma və alaqaranlıqda.

Lakin bu, yuxarıda təsvir edilən bütün problemləri həll etmir və nömrə nişanının tanınması prosesinə mənfi təsir göstərən bütün amilləri nəzərə almaq vacib olaraq qalır.

Bu səbəblərə görə biz qeyri-səlis nəticə çıxarma və nömrə nişanının tanınması texnologiyalarından istifadə etməklə nəqliyyat vasitələrinə girişin monitorinqi və idarə edilməsi üçün intellektual sistem təklif edirik, onun diaqramı Şəkil 4.-də təqdim olunur.



Şək.4. – İntellektual avtomobil girişinə nəzarət və idarəetmə sisteminin funksional diaqramı.

Avtomobilin dövlət nömrə nişanlarını tanıyarkən xarici amillərin daxil olan təsvirə mənfi təsirini azaltmaq üçün GÇNİS-nə qızdırıcı, temperatur sensoru, hərəkət sensoru, işıq sensoru, naxış tanıma bloku və internetə qoşulma kimi elementlər əlavə edilir.

Ağıllı avtomobil girişinə nəzarət və idarəetmə sistemi ağıllı nəzarətçi və xarici cihazlardan ibarətdir.

Ağıllı nəzarətçi qeyri-səlis emal texnologiyalarından və nömrə nişanının tanınmasından istifadə edərək idarəetmə siqnallarını yaradır.

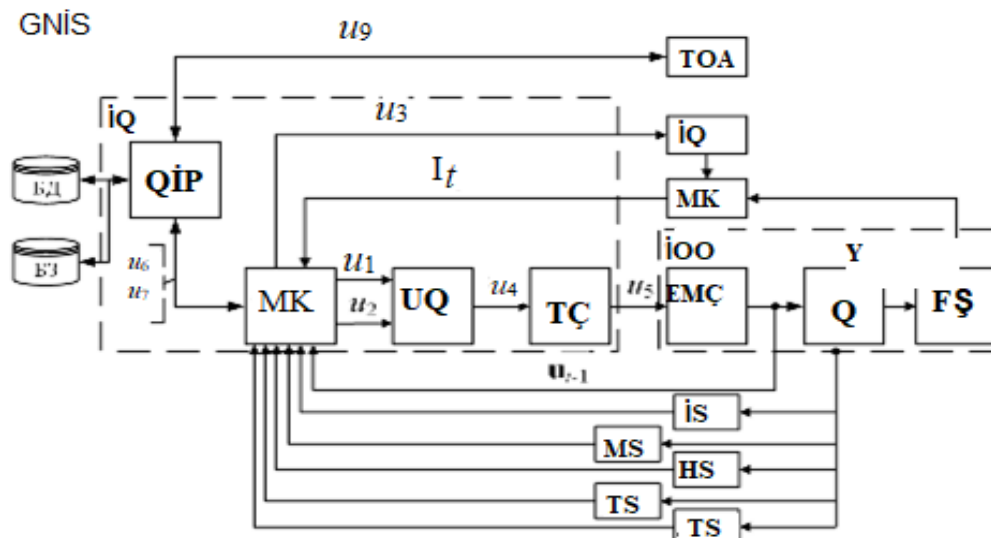
Xarici cihazlara aşağıdakılar daxildir:

İşıqlandırma (xarici işıqlandırma); videokamera; idarəetmə nəzarətçisi; qızdırıcı elementlər; maneə.

Təklif olunan sistem adaptivdir və xarici şəraitdən asılı olmayaraq baryerin işini tam avtomatlaşdırmağa imkan verir ki, bu da real nümunədə nümayiş etdirilir.

Aparat-proqram kompleksinin qurulmasına təklif olunan yanaşma digər girişə nəzarət və idarəetmə alt sistemlərinin inkişafı üçün prototip rolunu oynaya bilər.

Fiziki şəxslərin girişinə nəzarət məsələsinin həlli üçün ümumi intellektual GÇNİS sxeminin tətbiqini nəzərdən keçirək (Şəkil 5.).



Şək.5. Fərdlərin girişinə nəzarət və idarə etmək üçün intellektual sistemin funksional diaqramı

Şəkilə 5-də aşağıdakı işarələr istifadə olunur:

İQ – idarəetmə qurğusu; QİP – qrafik idarəetmə prosessoru; MK – mikrokompyuter; UQ – uyğunlaşdırıcı qurğu; TÇ – tezlik çeviricisi; İOO – idarə olunan obyekt; EMÇ – təklif etdiyimiz orijinal elektromexaniki çevirici; Q – qapı; FŞ – fiziki şəxs; MK – müşahidə kamerası; İQ – işıqlandırma qurğusu; TOA – təhlükəsizlik operatorunun avtomatlaşdırılmış iş yeri; İS – işıqlanma sensoru; MS – mövcudluq sensoru; HS – hərəkət sensoru; TS – üstü sensoru; TS – təzyiq sensoru.

Bu sxem intellektual GÇNİS -də müxtəlif elementlərin qarşılıqlı əlaqəsini əks etdirir və təhlükəsizliyin artırılması üçün çoxsaylı sensor və idarəetmə qurğularının istifadəsini təsvir edir.

İdarəetmə siqnallarının vektoru $u = (u_1, \dots, u_7)^T$, burada u_1 – istiqamət (açıq və ya qapalı), u_2 – sürücünün fırlanma sürəti, u_3 – arxa işığın idarə edilməsi, u_4 – sürücünün idarəetmə qanunu, u_5 – əks-səda sorğuları, u_6 – giriş səviyyəsi, u_7 – həyəcan siqnalı; çıxış siqnallarının vektoru (reaksiyalar) $y = (y_1, \dots, y_{10})^T$, burada, y_1 – sürücü parametrləridir, qiymətlərdən ibarət gərginlik və tezlik, y_2 – çərçivənin olması $I_t = V(t)$ video axını $V(t)$

Sistemin əməliyyat alqoritmi. Piroelektrik infraqırmızı sensordan istifadə edərək hərəkət aşkar edildikdə sistem “yuxu” rejimindən “aktiv” rejimə keçir. Daha sonra sistem işıqlandırma səviyyəsini yoxlayır və qeyri-səlis məntiqdən istifadə edərək üzün tanınması zamanı video təsviri yaxşılaşdırmaq üçün lazımı yumşaq arxa işığı yandırır. Məqbul işıqlandırma səviyyəsi qurulduqdan sonra insanlar neyron şəbəkəsi və qeyri-səlis yanaşmalardan istifadə edərək lokallaşdırılır. Binalara girişə icazə vermək qərarı normal və ya fəvqəladə hallar üçün hazırlanmış bəyanatlarla məlumat bazası ilə tənzimlənir.

NƏTİCƏ

1. İntellektual giriş-nəzarət sistemlərinin təhlili göstərir ki, mövcud həllər fəvqəladə halları nəzərə almaqda və nəzarət tədbirlərini inkişaf etdirməkdə yetərinə effektiv deyil. Sistemlərin optimallaşdırılması üçün nəqliyyat vasitələri və fiziki şəxslər üçün vahid aparat və proqram platformasının yaradılması vacibdir. Ayrılma prinsipinə əsaslanan iki hissəli model təklif edilir: birinci hissə müşahidə olunan obyektin vəziyyətinin qiymətləndirilməsini, ikinci hissə isə qeyri-səlis məntiq sistemindən istifadə etməklə optimal idarəetməni təmin edir. Kompüter görmə və müasir sensor texnologiyalarından istifadə edərək giriş-çıxış sistemlərinin avtomatlaşdırılması nəzərdə tutulur.

2. Yeni model obyektlərin identifikasiyasını, qorunan ərazilərə girişin məhdudlaşdırılmasını və vəziyyətin real vaxt rejimində qiymətləndirilməsini təmin edir. Paylanmış müşahidə və idarəetmə obyektinin vəziyyətinin analizi üçün təsvirin tanınması texnologiyalarından istifadə olunur. Mövcud sistemlərdən fərqli olaraq, yeni həll fəvqəladə halların müəyyən edilməsi və operativ reaksiya imkanlarını artırır. Bu yanaşma nəzarət sistemlərinin funksionallığını genişləndirərək, təhlükəsizlik və səmərəliliyi artırmağa kömək edir.

1. Амосов, О.С. Синтез оптимальных систем управления электромеханическим теплогенерирующим комплексом с использованием нечетких систем / О.С. Амосов, Л.Н. Амосова, С.Н. Иванов // Информатика и системы управления. – № 1 (19). – 2009. – с. 73-83.
2. Амосов, О.С. Система автоматического управления шлагбаумом с использованием технологий нечеткого вывода и компьютерного зрения /О.С. Амосов, С.Г. Баена, Ю.С. Иванов, Хтайк Со //Интернет-журнал Науковедение. – 2017. Т. 9. – № 1. – с. 42.
3. Бураков, М.В. Синтез нечетких логических регуляторов /М. В.Бураков, А.С. Коновалов // Информационно-управляющие системы. – 2011. –№ 1. – с. 21-27.
4. Никитин, А.Е. Распознавание лиц на телевизионных изображениях при наличии искажающих факторов: дис. канд. техн. наук: 05.12.04. –Ярославль, 2015.

5. *Есилевский, В.С.* Управление насосными агрегатами к.н.с. спомощью систем нечетко-нейронного управления / В.С. Есилевский, В.Н.Кузнецов, В.П. Панов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Т. 8, – № 9, – 2012. – с. 12-16.
6. *Двойной, И.Р.* Методы распознавания изображения лица человека по цветовым признакам и идентификации личности на основескрытых марковских моделей в системах видеонаблюдения: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.17. – Пенза, 2013.
7. *Амосов, О.С.* Модифицированный алгоритм локализации номерных знаков транспортных средств на основе метода Виолы-Джонса / О.С. Амосов, Ю.С. Иванов // Информатика и системы управления. – 2014. – №1 (39). – с. 127-140.
8. *Влацкая, И.В.* Моделирование поведения нечетких контроллеров в системах с известной структурой /И.В. Влацкая //Вестник ОГУ. – 2011. —№ 1(120). – с. 166-169.
9. *Алави, С.Э.* Контроллер позиционного электропривода на основе нечеткой логики / С. Э. Алави, Ю. Н. Петренко // Труды БГТУ. – 2008. -№ 1. – с. 21-25.
10. *Зуев, Д.В.* Синтез объектной нейросетевой модели распознавания образов и её применение в задачах железнодорожной автоматики: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18. – Санкт-Петербург, 2013.

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ДОСТУПА

ГУСЕЙНОВ Б.Г., ГАШИМОВ Х.Х.

В данном исследовании анализируется текущее состояние интеллектуальных систем контроля доступа и рассматриваются пути их совершенствования. Существующие системы недостаточно эффективно учитывают чрезвычайные ситуации и обеспечивают контроль. В качестве нового подхода предлагается двухкомпонентная модель, основанная на принципе разделения, использующая технологии компьютерного зрения и современные сенсорные системы. Эта модель оценивает состояние наблюдаемых объектов в режиме реального времени и обеспечивает оптимальное управление с использованием нечеткой логики. Предлагаемые решения включают идентификацию транспортных средств и физических лиц, ограничение доступа к охраняемым зонам и автоматический анализ ситуаций. Представленная модель повышает безопасность и функциональность систем контроля доступа, улучшая общую эффективность управления.

Ключевые слова: предприятие, система управления, интеллектуальный, объект, процесс, модель, промышленность

ANALYSIS AND IMPROVEMENT OF INTELLIGENT ACCESS CONTROL SYSTEMS

HUSEYNOV B.Q., HASHIMOV Kh.Kh.

This study analyzes the current state of intelligent access control systems and examines ways to improve them. Existing systems are not sufficiently effective in considering emergency situations and ensuring efficient control. As a new approach, a two-part model based on the principle of separation, utilizing computer vision and modern sensor technologies, is proposed. This model evaluates the status of observed objects in real-time and ensures optimal management using fuzzy logic systems. The proposed solutions include the identification of vehicles and individuals, restriction of access to secured areas, and automatic situation analysis. The suggested model enhances the security and functionality of access control systems, improving overall management efficiency.

Keywords: enterprise, management system, intelligent, object, process, model, industry.

DOI:10.70784/azip.5.2025153

ОТРАЖЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ И ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС НАХЧЫВАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

КАЗЫМОВ М.Г.

*Института Природных Ресурсов, Министерства
Науки и Образования Азербайджана
AZ 7000, г. Нахчыван, пр. Г. Алиева 35
mahbukazimov@yahoo.com*

В статье показаны результаты расчетов продолжительности и значения энергии солнечных лучей, проходящих за определенный период времени на территорию Нахчыванской Автономной Республики. Определена зависимость коэффициента отражения солнечных лучей от величины преломления данного предмета, от которого отражаются солнечные лучи. Доказано, что отражение солнечных лучей в солнечных преобразователях плоского типа на физико-географической территории Нахчыванской котловины, может вызвать изменение температуры и климата, а также нарушение экологического баланса в этом регионе. Рассмотрен расчет мощности естественной теплоотдачи от плоских поверхностей преобразователя, помещенного в открытом воздушном пространстве. Анализированы причины изменения температуры воздуха, давления и плотности воздуха в зависимости от высоты. Рассмотрены результаты научных исследований процесса формирования и развития уникальных явлений – порыва ветра, наблюдаемые на территории Нахчыванской котловины при повышении температуры воздуха приземной атмосферы и их серьезную опасность.

Ключевые слова: солнечные лучи, отражение лучей, температура воздуха, экологический баланс, коэффициент отражения, порывы ветра, ураганная сила.

Введение: Исследуемая территория расположена в пределах высот 720–3917 метров над уровнем моря. Местные особенности Нахчыванской котловины обусловлены высокими горами, создающие сухой и резко-континентальный климат.

Одним из главных достоинств Нахчыванской котловины является его целебно курортный климат, обилие солнечных дней, чистый и прозрачный воздух, наличие в регионе целебных минеральных источников и целебных трав.

С этой точки зрения при размещении установок преобразования солнечных лучей на территории следует учитывать экологический баланс региона, здоровье населения, климатические условия региона и т.д.

Одним из важнейших факторов формирования климата данной местности является сложный горный рельеф. Неравномерное распределение энергии солнечных лучей по склонам гор различной экспозиции и высоты приводит к большим микроклиматическим различиям.

Летом температура воздуха поднимается до 47-48⁰С в тени, при относительной влажности 17-18%. В солнечные дни нагревание и охлаждение территории происходит не только снизу, но и с боков. На температурный баланс влияют высота над уровнем моря, экспозиция и крутизна склонов.

Если будет существовать баланс между приходом солнечных лучей на территорию Нахчыванской котловины и ее преобразованием энергии, климат в данной местности останется неизменным [3].

На основании данных, полученных от местных метеорологических станций и личных наблюдений, установлено, что Шахбузский, Джульфинский, Ордубадский, Бабекский и Шарурские районы имеют разный микроклимат.

При осуществлении преобразования солнечной энергии в электрическую энергию, любое необдуманное вмешательство с помощью устройств отражающих солнечные лучи может нарушить этот баланс.

Искусственное изменение температуры воздуха приземной атмосферы на локальной территории может привести к изменению климата и экологической катастрофе местности.

Экспериментальный процесс: Поступление энергии солнечных лучей на локальную территорию Нахчыванской котловины с координатами А ($\varphi^0=39^0$ и $\psi^0=45^0$) составляет 2900–3000 часов в год. В марте, 300-310, в апреле 320-330, в мае 460, в июле 470, в августе 470, в сентябре 340, в октябре 320 часов.

На основании данных, полученных от местных метеорологических станций и личных наблюдений, нами были рассчитаны поступления солнечных лучей в течении суток на территорию Нахчыванской котловины (Таблица 1):

Таблица 1.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Т.с. час	9,6	10,57	11,74	13,02	14,13	14,69	14,44	13,48	11,76	10,95	9,8	9,3

В приземной атмосфере и подстилающей поверхности земли Нахчыванской котловины в каждый момент времени энергия солнечных лучей поступает в виде трех потоков: прямых (S_n), диффузионных (S_d) и отраженных ($S_{отр}$) от поверхности Земли и из установок преобразования энергию солнечных лучей:

$$S_c(t) = S_n(t) + S_d(t) + S_{отр}(t)$$

Значение максимальной высоты солнца в Нахчыванской котловине в летние дни: $H_{max} = 74,5^0$, в зимние дни: $H_{min} = 27,5^0$.

По Международным стандартам значение «солнечной постоянной» принять $S = 1367 \text{ Вт/м}^2$.

Значение солнечных лучей, попадающих на территории Нахчыванской котловины в летние дни равно: $S_{сл} = 1170,11 \text{ Вт/м}^2$, в зимние дни: $S_{сз} = 516,75 \text{ Вт/м}^2$

Расчет максимальной суточной энергии солнечных лучей Θ (кВт час/ м^2 сутки) показан в таблице 2 [2]:

Таблица 2.

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Т.с. час	9,6	10,57	11,74	13,02	14,13	14,69	14,44	13,48	11,76	10,95	9,8	9,3
Θ (кВт час/ м^2 сутки)	1,80	3,09	5,1	7,47	9,45	10,4	10,02	9,4	7,84	3,8	2,11	1,44

Когда солнечные лучи падают на поверхность плоского предмета, в точке падения лучи меняют свое направление. Это называется отражением солнечных лучей (рис. 1.): 1– солнце, 2 – поверхность земли, 3 –отражение лучей преобразователем

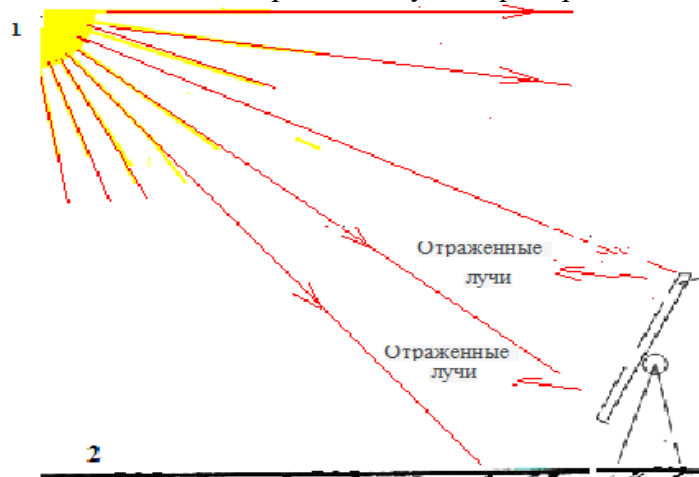


Рис. 1. Отражение солнечных лучей плоским преобразователем.

Значение отражения солнечных лучей зависит от типа предмета, от которого отражаются лучи. В преобразователях энергии солнечных лучей плоского типа используется стекло. В зависимости от толщины и типа стекла значения коэффициента отражения колеблются в пределах 1,4-2,0.

Коэффициент отражения может варьироваться в зависимости от состояния материала предмета и зависит от значения преломления (R) солнечных лучей предметом, от которого отражаются лучи [5]:

$$R = \frac{(n_c - 1)^2}{(n_c + 1)^2}$$

Где: n_c – показатель преломления стекла.

Например, если примем $n_c = 1,5$, то значение (R) будет:

$$R = \frac{(n_c - 1)^2}{(n_c + 1)^2} = \frac{(1,5 - 1)^2}{(1,5 + 1)^2} = 0,04 = 4\%$$

Если принимать $n_c = 1,7$ тогда:

$$R = \frac{(n_c - 1)^2}{(n_c + 1)^2} = \frac{(1,7 - 1)^2}{(1,7 + 1)^2} = 0,067 = 6,7\%$$

Отношение количества солнечных лучей, отраженной деятельной поверхностью земли, к приходящим суммарным солнечным лучам, называется альбедо:

$$A = S_{\text{отр}} / S$$

Где: $S_{\text{отр}}$ – значения энергии отраженных солнечных лучей ($\text{кВт}/\text{м}^2$),

S – значения солнечных лучей попадающих на территорию ($\text{кВт}/\text{м}^2$).

Отражения солнечных лучей в Нахчыванской котловине равно $317 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Тогда альбедо территории Нахчыванской котловины в летнее время будет:

$$A = 317 / 1170 = 0,271$$

Как видно, искусное увеличение отражения солнечных лучей плоскими преобразователями на территории Нахчыванской котловины, может вызвать изменение альбедо этой территории.

Температура солнечных лучей, которые отражаются предметом, называется отраженной температурой. В зависимости от значения преломления (R) солнечных лучей предметом температура приземной воздуха будет меняться.

Для преобразования энергии солнечных лучей в электрическую энергию применяются солнечные фотоэлектрические батареи в виде плоских прямоугольных поверхностей. При производстве энергии из солнечных лучей, любое необдуманное вмешательство на климат может привести к серьёзным последствиям.

По Международным стандартам параметры этих преобразователей должны составлять:

- КПД 17-18%.
- максимальная энергия солнечных лучей на каждый 1 м^2 – $800 \text{ Вт}/\text{м}^2$;
- рабочая температура 25°C ;
- максимальная температура воздуха $40-45^\circ\text{C}$.

При температуре $40-45^\circ\text{C}$ и выше эти солнечные преобразователи теряют свою мощность на 17-19% и распространяют в окружающую среду испарение токсичных ядов.

В зависимости от типов фотоэлементов, номинальная мощность этих преобразователей на каждый 1 м^2 площади рассчитана на 200-300 Вт.

На территории Нахчыванской котловины установлены солнечные преобразователи плоского типа производства Китайской Народной Республики. КПД этих преобразователей составляет 11-12%.

Мощность этих плоских солнечных преобразователей находим по формуле:

$$W = \eta_{\phi} \cdot F_{\phi} \cdot S_c$$

Где: η_{ϕ} – КПД фотоэлектрических преобразователей - $\eta_{\phi} = 0,11$

F_{ϕ} – площадь фотоэлектрического преобразователя, м².

Находим мощность преобразователя с площадью 1м² для летнего времени:

$$W_{\phi л} = \eta_{\phi} \cdot F_{\phi} \cdot S_{сл} = 0,12 \cdot 1 \cdot 1170 = 140,4 \text{ Вт/м}^2$$

Для зимнего времени:

$$W_{\phi з} = \eta_{\phi} \cdot F_{\phi} \cdot S_{сз} = 0,12 \cdot 1 \cdot 516,75 = 62,01 \text{ Вт/м}^2$$

Таким образом, находим, что мощность этих преобразователей существенно меньше Международных стандартов [4].

Результаты: Для того, чтобы климат в Нахчыванской котловине остался неизменным, тепловой баланс должен остаться постоянным и равным нулю:

$$R_6 + T + T_{з.отр} + T_{в.л} \cdot K_в = 0$$

Где: R_6 – радиационный баланс;

T – теплообмен за счет поглощения и передачи тепла воздухом;

$T_{з.отр}$ – теплообмен воздуха поверхности земли и тепла отраженных лучей;

$T_{в.л}; K_в$ – потери тепла при испарении или превращении пара в воду;

$T_{в.л}$ – удельная теплоемкость водяного пара;

$K_в$ – масса испарившейся воды или превращенный в воду пара.

При отражении солнечных лучей температура воздуха приземной атмосферы повышается. Поэтому, в зависимости от количества отраженных лучей может резко измениться температура приземной атмосферы данной территории [4].

В Нахчыванской котловине при попадании солнечных лучей на преобразователь, температура поверхности преобразователя t_n повышается и это температура передается в окружающую среду t_{0c} :

$$Q_{пот} = \kappa_{то} (t_n - t_{0c}) S$$

Где: $\kappa_{то}$ – коэффициент теплоотдачи поверхности преобразователя воздуху приземной атмосферы;

S – площадь нагретой поверхности преобразователя;

t_n – температура нагретой поверхности преобразователя;

t_{0c} – температура воздуха окружающей среду.

Коэффициент теплоотдачи определяем по формуле:

$$\kappa_{то} = d / \lambda = 1,7 / 2,8941 = 0,5874$$

Где: d – толщина стекла преобразователя;

λ – коэффициент теплопроводности поверхности преобразователя;

Тогда температура, передаваемая в окружающую среду будет:

$$Q_{ном} = \kappa_{то} (t_n - t_{0c}) S = 0,5874 (70 - 30) 1 = 23,5$$

Коэффициент теплоотдачи от поверхности преобразователя в окружающий воздух:

$$\alpha_{oc} = 11,6 + 7\sqrt{v}$$

Где: v – скорость воздуха, обдувающего поверхность преобразователя.

На рисунке 2. показан, как ветер окружающего воздуха движется вдоль поверхности плоского преобразователя в пространстве.

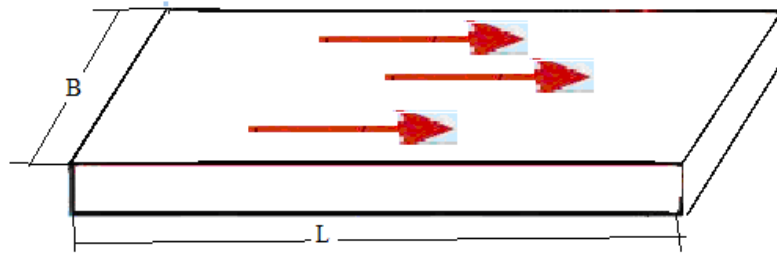


Рис.2. Движение воздуха вдоль поверхности преобразователя.

Коэффициент теплоотдачи от преобразователя к окружающей среде находим по формуле:

$$\alpha_{oc} = (2,26 - 0,0067 \beta) (t_{cm} - t_{возд})^{0,33}$$

Где: t – температура нагретой поверхности (стекла) преобразователя, °С;

$t_{возд}$ – температура воздуха, °С;

β – угол наклона преобразователя к горизонту, град.

Тепловой коэффициент теплопередачи — это количество энергии (Вт), проходящее через 1 м² поверхности преобразователя, который контактирует с наружным воздухом.

Значение коэффициента теплопередачи (R) рассчитывается по формуле:

$$R = d / \lambda$$

Где: d – толщина приемной панели;

λ — коэффициент теплопроводности, Вт/К.

Такие расчеты, имеют практическое применение. Прежде всего, они применяются для сравнения параметров поверхности панели с нормами, указанными в технических паспортах. Зная коэффициент теплоотдачи из поверхности плоских преобразователей (α) на воздушное пространство, можно определить мощность теплового потока (Q) по известной разности температур (Δt). Мощность теплового потока от или к поверхности преобразователя:

$$Q = \alpha A \Delta t$$

Где: A – площадь поверхности преобразователя, м²;

Δt – разность температур поверхности и воздушной среды, К;

$$\Delta t = t_{п} - t_{возд}$$

$t_{п}$ – температура поверхности преобразователя, °С;

$t_{в}$ – температура воздуха, °С

α – суммарный коэффициент теплоотдачи на границе воздуха и поверхности преобразователя:

$$\alpha = \alpha_{к} + \alpha_{р}$$

$\alpha_{к}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи, Вт / (м² К);

$\alpha_{р}$ – коэффициент радиационной теплоотдачи, Вт/(м² К):

$$\alpha_{р} = \varepsilon \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} ((t_{п} + 273,15)^4 - (t_{возд} + 273,15)^4) / (t_{п} - t_{возд})$$

ε – степень прозрачности поверхности преобразователя;

Нестабильность процесса теплоотдачи преобразователем в окружающий воздух, порождает разнообразие формул для вычисления коэффициента теплоотдачи ($\alpha_{к}$). Значения параметров теплоотдачи поверхности плоского преобразователя в атмосферный воздух показаны в таблице 3:

Таблица 3.

№	Наименование	Обозначение	Значение
1	Энергия солнечных лучей в Нахчыванской котловине в летние дни, Вт/м ²	S _c	1170,11
2	Скорость воздуха вдоль поверхности преобразователя, м/с	v	1,0
3	Температура окружающего воздуха, °С	t _{ов}	40,0
4	Температура поверхности преобразователя, °С	t _п	80
5	Степень прозрачности поверхности преобразователя	ε	0,85
6	Ширина поверхности преобразователя, м	B	1
7	Длина поверхности преобразователя, м	L	2,0
8	Плотность окружающего воздуха, Кг/м ²	ρ	1,14
9	Коэффициент вязкости воздуха, Па ⁰ С	μ	1,867E
10	Теплоемкость воздуха, Дж(кг К)	Q _{воз}	1005
11	Теплопроводность воздуха, Вт/(м К)	λ	2,894E
12	Коэффициент теплоотдачи, Вт / (м ² К)	α _к	6,85
13	Коэффиц. радиационной теплоотдачи, Вт / (м ² К)	α _р	9,78
14	Суммарный коэффициент теплоотдачи, Вт / (м ² К)	α	16,83
15	Мощность теплового потока, Вт	Q	31,7

В Нахчыванской котловине при попадании солнечных лучей на преобразователь, температура поверхности преобразователя t_n повышается и это температура передается в окружающую среду t_{0c} :

$$Q = \kappa_{то} (t_n - t_{0c}) S = 0,5874 (80 - 40) = 23,5 \text{ Вт/(м}^2 \text{ К)}$$

Коэффициент теплоотдачи $\kappa_{то}$ определяем по формуле:

$$\kappa_{то} = d / \lambda = 1,7 / 2,8941 = 0,5874 \text{ Вт/(м К)}$$

Где: d – толщина стекла преобразователя;

λ – коэффициент теплопроводности поверхности преобразователя;

В Нахчыванской котловине для повышения температуры окружающего сухого воздуха один солнечный преобразователь передает в окружающий воздух 23,5 Вт/(м² К) или 23,5 Дж. энергии.

Повышение температуры воздуха можно определить из формулы:

$$\Delta t = Q / (Q_{воз} \cdot \rho \cdot S).$$

Где: S – 2м² площади преобразователя;

$Q_{воз}$ – теплоемкость воздуха, Дж (кг К);

ρ – Плотность окружающего воздуха, Кг/м²

$$\Delta t = = 23,5 / (1005 \cdot 1,14 \cdot 2) = 0,0103 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Площадь одного преобразователя составляет 2 м². Тогда, одним солнечным преобразователем будет повышена температура окружающего воздуха на 0,0412°С.

Расчетная мощность установленного на территории Нахчыванской котловины одного солнечного преобразователя в летнее время равна

$$W_{фл} = 140,4 \text{ Вт/м}^2$$

Общая площадь территории Нахчыванской котловины равна 5,5 тыс. квадрат километров, 70% которых составляют высокие горы. На остальной территории, где проживает около 470 тысяч населения, планируется получить 850 МВт электрической энергии из солнечных преобразователей плоского типа производства Китайской Народной Республики.

В зависимости от количества преобразователей, воздействия отражения солнечных лучей преобразователями, температура окружающего воздуха на территории Нахчыванской котловины окажется значительно теплее.

Увеличение температуры сухого теплого воздуха приземной атмосферы, каким является воздух Нахчыванской котловины, находим по формуле:

$$\Delta T = \Delta A_{\lambda} (1 - \rho_0) \frac{273 + T_{\lambda}}{4(1 - A_{\lambda})}$$

Где: A_{λ} – годовая алbedo атмосферы на локальной территории, $-0,71$;
 T_{λ} – теплообмен тепла воздуха поверхности земли и отраженных лучей;
 ΔT – изменение температуры воздуха на локальной территории;
 ΔA_{λ} – изменение годового алbedo атмосферы на локальной территории, $0,11$;
 ρ_0 – энергия отраженных солнечных лучей года, при $n_c = 1,7$ $\rho_0 = 0,784$

Тогда:

$$\Delta T = \Delta A_{\lambda} (1 - \rho_0) \frac{273 + T_{\lambda}}{4(1 - A_{\lambda})} = 0,11(1 - 0,784) \frac{273 + 40}{4(1 - 0,71)} = 0,0238 \frac{313}{1,16} = 6,22 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Приведенные нами выше формулы применимы к сухому воздуху, каким является воздух Нахчыванской котловины.

Если при воздействии преобразователей, отражающих солнечные лучи, температура воздуха на территории Нахчыванской котловины окажется теплее, то вертикальное движение тёплого воздуха будет ускоряться и поднимется вверх со скоростью $3,6 \text{ см/сек}^2$.

В результате вертикального движения повышенная температура воздуха будет отличаться от температуры окружающей среды.

С увеличением отражения солнечных лучей плоскими преобразователями на территории Нахчыванской котловины произойдет изменение температурного баланса этой территории. Если этот баланс нарушится, тогда будет происходить изменение климата.

С повышением температуры увеличится интенсивность порывов ветра на территории Нахчыванской котловины, которая обладает значительно большей разрушительной силой. Порывы ветра могут полностью уничтожить строения, разрушить дома, сносить конструкции, ломать деревья, вызывать обрыв линий электропередач и т.д.

Таким образом, можно твердо утверждать, что необдуманное изменение температуры приземной атмосферы на локальной территории Нахчыванской котловины с помощью устройств отражающих солнечные лучи, может привести к изменению климата и экологической катастрофе местности [1].

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены особенности экологического и температурного баланса между приземной поверхностью и атмосферой в Нахчыванской котловине при загрязнении воздуха в атмосфере и отражении солнечных лучей.

2. Установлено, что сухой и резко-континентальный климат Нахчыванской котловины является наиболее чувствительным. Любое необдуманное вмешательство с помощью устройств отражающих солнечные лучи может нарушить температурный баланс и произойдет изменение климата.

3. Установлено, что на климат Нахчыванской котловины влияет температура воздуха, которая нагревается при отражении солнечных лучей плоскими прямоугольными преобразователями.

4. Резкое изменение температуры Нахчыванской котловины может привести к изменению климата и экологической катастрофе местности. Рассмотрены реальные пути предотвращения этих негативных процессов.

1. Борзенкова И.И., К вопросу о влиянии местных факторов на приход радиации в горной местности, Труды ГГО, 1997 г, вып.2, с. 70 –77.

2. Виссарионов В.И, Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А, Малинин Н.К, Расчет ресурсов солнечной энергетики, Москва, Изд-во МЭИ, 1999, с. 61.
3. *Клименко В.В. и др.*, Энергия, природа и климат, Москва, 2007, с. 247.
4. *Переведенцев Ю.П.*, «Климат, энергия и экология», Учебное пособие, Казань, Издательство Казанского университета, 2004, с. 320.
5. *Умаров Г.Я, Ершов А.А.*, Солнечная энергетика, Москва, Знание, 2004, с. 96.

ОТРАЖЕНИЕ СОЛНЕЧНЫХ ЛУЧЕЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОЛОГИЮ И ТЕПЛОВЫЙ БАЛАНС НАХЧЫВАНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

КАЗИМОВ М.Г.

В статье приведены результаты расчетов продолжительности и энергетической ценности солнечных лучей, проходящих за определенный промежуток времени на территорию Нахчыванской Автономной Республики. Определена зависимость коэффициента отражения солнечных лучей от величины преломления заданного объекта, от которого отражаются солнечные лучи. Доказано, что отражение солнечного света в солнечных преобразователях плоского типа на физико-географической территории Нахчыванской котловины может вызвать изменение температуры и климата, а также нарушение экологического равновесия в этом регионе. Рассматривается расчет мощности естественной теплопередачи от плоских поверхностей преобразователя, размещенного в открытом воздушном пространстве. Анализируются причины изменения температуры воздуха, давления и плотности воздуха в зависимости от высоты. Рассматриваются результаты научных исследований процесса формирования и развития уникальных явлений - порывов ветра, наблюдаемых в Нахчыванской котловине при повышении температуры воздуха в приземной атмосфере и их серьезная опасность.

Ключевые слова: солнечные лучи, отражение лучей, температура воздуха, экологическое равновесие, коэффициент отражения, порывы ветра, сила урагана.

REFLECTION OF SOLAR RAYS AND THEIR IMPACT ON THE ECOLOGY AND HEAT BALANCE OF THE NAKHCHIVAN BASIN

KAZIMOV M.H.

The article shows the results of calculations of the duration and energy value of solar rays passing over a certain period of time to the territory of the Nakhchivan Autonomous Republic. The dependence of the reflection coefficient of solar rays on the refraction value of the given object from which the solar rays are reflected has been determined. Has been proven that the reflection of sunlight in flat-type solar converters on the physical-geographical territory of the Nakhchivan Basin can cause changes in temperature and climate, as well as disruption of the ecological balance in this region. The calculation of the power of natural heat transfer is considered. from the flat surfaces of the transducer placed in open air space. The reasons for changes in air temperature, pressure and air density depending on altitude are analyzed. The results of scientific research into the process of formation and development of unique phenomena - gusts of wind, observed in the Nakhchivan Basin with an increase in air temperature in the surface atmosphere and their serious danger are considered.

Keywords: sun rays, reflection of rays, air temperature, ecological balance, reflection coefficient, gusts of wind, hurricane force.

DOI:10.70784/azip.5.2025161

QUBADLI RAYONUN AQRAR SƏNAYE POTENSİALININ VƏ BİOENERJİ EHTİYATLARININ QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ**POLADOVA V.N., SALAMOV O.M., MUSTAFAYEVA R.M., SALMANOVA F.Ə., MAHMUDOVA T.Ə., VƏLİZADƏ İ.E., SƏFƏROVA V.M.**

*Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
Radiasiya Problemləri İnstitutu
Az 1143, B.Vahabzadə 9
poladova-vusale@bk.ru*

Məqalədə işğaldan öncəki dövrlərdə Qubadlı rayonun aqrar sənaye sektorundakı inkişaf tendensiyası araşdırılır, ayrı-ayrı sahələr üzrə əldə edilmiş göstəricilərin müqayisəli təhlili aparılır. Kənd təsərrüfatının, xüsusən də meyvə-tərəvəz, taxılçılıq bostançılıq və s. kimi sahələrin inkişaf etdirilə bilməsi üçün mövcud vəziyyət araşdırılır və gələcək işlərin planlaşdırılması üçün retroskopik proqnozlaşdırma üsulundan istifadənin səmərəliliyi qiymətləndirilir, bitki və heyvan mənşəli biokütlə (BK) növlərindən istifadə imkanları araşdırılır.

Acar sözlər: Alternatif enerji, biokütlə bioenerji, günəş və külək enerjisi, bitki və heyvan mənşəli biokütlə, yaşıl enerji.

Müasir dövrdə ənənəvi yanacaq növlərinə mümkün qədər qənaət etmək, yanacaqları ekoloji cəhətdən təmiz, tükənməz olan alternativ yanacaq növləri ilə əvəz etmək dünya alimlərinin qarşısında duran aktual məsələlərindədir. Enerji daşıyıcılarının qiymətlərinin bir tərəfdən getdikcə artımı və iqlim dəyişikliyi, ətraf mühütün mühafizəsi, digər tərəfdən ekoloji cəhətdən təmiz və tükənməz olan enerji mənbələrindən (Günəş, külək, biokütlə, geotermal enerji, dağ çaylarının enerjisi və s) istifadəsi üçün yeni lahiyələrin, texnolojiyaların işlənilməsi, elmi-tədqiqat işlərinin stimullaşdırılmasının vacibliyini bir problem kimi qarşıya qoyur.

Azərbaycan bərpa olunan enerji potensialına görə dünyanın ən öndə gedən ölkələrindən biridir və hal-hazırda Bərpa Olunan Enerji Mənbələrinə (BOEM) uğurlu keçidin nümunəsidir. Neft və qaz ölkəsi olmasına baxmayaraq, Azərbaycan yaşıl enerjiyə keçidə hədəflənən qabaqcıl yanaşmalarının tətbiqi üzrə regionda ən lider ölkədir və iqlim dəyişmələrinin törətdiyi fəsadlara qarşı mübarizədə böyük töhfələr verir. Məhz bu səbəbdən də BMT-nin İqlim Dəyişikliyi üzrə Çərçivə Konvensiyasının Tərəflər Konfransının 29-cu sessiyasına - COP29 2024-cü ilin noyabr ayında Azərbaycan ev sahibliyi edəcək və bu Konfrans Bakı şəhərində keçiriləcəkdir. Bu konfransın keçirilməsi ölkəmizin BOEM və ümumiyyətlə alternativ energetika, yaşıl energetika, hidrogen energetikası və s. üzrə əldə etdiyi texnoloji nailiyyətləri bütün dünyaya nümayiş etdirməyə imkan verəcəkdir.

Torpaqlarımızın işğaldan azad olunmasının sayəsində Azərbaycanın yaşıl enerji potensialından istifadə imkanı artmış oldu. Belə ki, bu ərazilər BOEM-nin əksər növləri (günəş, külək, biokütlə, dağ çaylarının enerjisi və s.) ilə zəngindir.

Son illərdə bioyanacaq dünyanın energetika sisteminin ayrılmaz hissəsinə çevrilib. Bu onunla izah edilir ki, əvvəla həmin yanacaq növləri bərpa olunan xammal növlərindən istehsal oluna bilər (su, müxtəlif BK növləri, üzvi tullantılar (ÜT) və s.), ikincisi – onların istehsalı zamanı enerji mənbəyi kimi yenə tükənməz və ekoloji cəhətdən təmiz olan günəş və külək enerjisindən istifadə edilə bilər və nəhayət həmin yanacaq növlərindən istifadə zamanı ətraf mühir ənənəvi yanacaq növlərindən (ƏYN) istifadə ilə müqayisədə xeyli az miqdarda çirklənir.

BK-dən elektrik enerjisi və maye yanacaq istehsal etmək mümkündür. Belə ki, ABŞ-in Florida ştatında taxta yonqarından etanol istehsal edilir, hansı ki, daha sonra həm bilavasitə nəqliyyat vasitələri, həmçinin də İES-da elektrik hasilatı məqsədilə yanacaq kimi istifadə olunur [1].

Əksər dünya ölkələrində BK-dən istifadə etməklə enerji istehsal edilir [2].

Bilavasitə heyvandarlıqda istifadə üçün yararsız olan bir sıra bitki mənşəli BK və ÜT növləri (o cümlədən də yanar bərk məişət tullantıları) mövcuddur ki, onlardan da müxtəlif üsullarla maye və qaz şəkilli AYN almaq mümkündür [3].

Aşağıda bu xammal növlərinin işğaldan azad olunmuş ərazilərdə, xüsusən də Qubadlı rayonunda mümkün ola biləcək resursları barədə araşdırmalar aparılır.

Qubadlı rayonu Qarabağın, Kiçik Qafqaz dağlarının cənub-şərqində, Araz çayının sol sahilində yerləşir. Ərazisi iqtisadi baxımdan Kəlbəcər-Laçın zonasına daxil olmaqla, Azərbaycanın ümumi ərazisinin 0,9 faizini, Qarabağ ərazisinin isə təqribən 5,8 faizini təşkil edir.

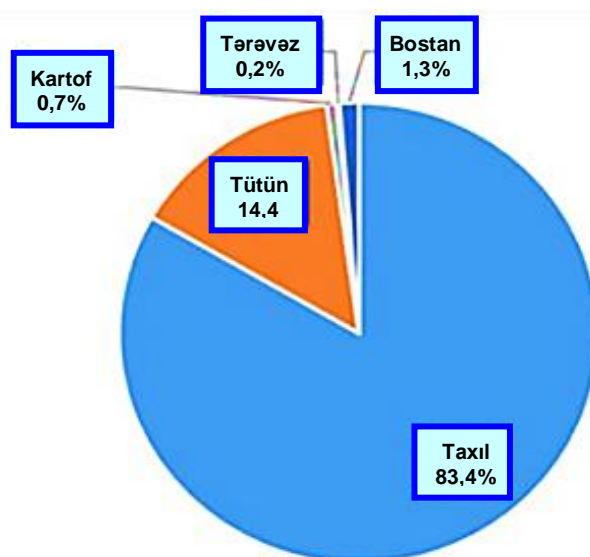
Ərazisinin cənub hissəsində yayı quraq keçən mülayim-isti yarımsəhra və quru çöl, şimal hissəsində isə yayı quraq keçən mülayim isti iqlim şəraiti müşahidə olunur. Əsasən dağ şabalıdı, şabalıdı və qəhvəyi dağ-meşə torpaqları yayılmışdır. Əkin sahələri bol sulu Bazarçay (Bərgüşad), Həkəri və Meydan Dərəsi çayları ilə suvarılır.

Qubadlının əhalisi əsasən kənd yerlərində məskunlaşdığından uzun illər boyu onların əsas məşğuliyyətləri kənd təsərrüfatı olmuşdur. Yayı isti, qışı mülayim olan otlaq və biçənək sahələrinin geniş olmasına (17,8 min ha) və əhalinin maldarlıq sahəsində təsərrüfatçılıq ənənələrinin saxlanılmasına görə Qubadlı rayonunun aqrar potensialı daha çox heyvandarlıq sahəsinə yönəlmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, burada mövcud olan otlaq sahələri respublikanın otlaq sahələrinin təxminən 0,7 faizini təşkil edir. Ərazisində hakim olan iqlim şəraitinin və bol sulu çaylarının verdiyi imkanlara görə rayon sakinləri həm birillik, həm də çoxillik bitki növlərini rahat becərə bilirdilər. Əsas məşğuliyyətinin əkinçilik olmasına baxmayaraq, bu rayonda həm də müxtəlif meyvə və tərəvəz növləri yetişdirilir, xüsusən də taxıl, tütün və üzüm əkilirdi.

Bitkiçilik sahəsi üzrə aqrar potensialın qiymətləndirilməsi

1988-ci ilin göstəricilərinə nəzər saldıqda Qubadlı rayonunda taxıl (83,4 faiz) və tütün (14,4 faiz) sahələrinin daha geniş əraziləri əhatə etdiyi müşahidə olunur. Bu bitkilərlə yanaşı, Qubadlı rayonunda 997 hektar sahədə çoxillik bitki növü olan üzümlüklər də vardı, hansıların ki, Azərbaycan üzrə ümumi payı 1,1 faiz təşkil edirdi. Aşağıdakı diaqramdan bölgənin hansı bitkiçilik məhsullarının istehsalı ilə ixtisaslaşdığı, kənd təsərrüfatının tarixi ənənəsinin hansı sahələrdə təmərküzləşdiyi daha aşkar şəkildə nəzərə çarpır [4].

1988-ci ildə Qubadlı rayonunda mövcud olan taxıl sahələri ölkəmizdə olan ümumi əkin sahəsinin 0,6 faizini, rayonda mövcud olan tütün sahələri isə ölkədəki ümumi əkin sahələrinin 3,6 faizini təşkil etmişdir.



Şək.1. 1988-ci il üzrə Qubadlı rayonunda bitkiçilik məhsullarının əkin strukturu.

Aparılan araşdırmalar nəticəsində bəlli olmuşdur ki, intensiv əkilib-becərilmə üsullarının tətbiqi sayəsində 2025-ci ilə qədər Qubadlı rayonunda tütün istehsalının ümumi həcmnin 2 min tona çatdırılması proqnozlaşdırılır. Bu göstərici tütünün məhsuldarlığının 4 ha/tona çatdırılmasının sayəsində əldə ediləcəkdir. Bu isə, öz növbəsində, ölkədə istehsal olunan tütünün təxminən 25-27 faizinin məhz Qubadlı rayonu hesabına formalaşacağı deməkdir.

Taxıl istehsalı potensialı. Rəsmi statistik məlumatlara əsasən, 1980-ci ildə 5,0 min hektar sahədə taxıl əkilmiş və 5,2 min ton məhsul əldə edilmişdir. 1980-1988-ci illər ərzində Qubadlı rayonunda ölkə üzrə ümumi hasilatın 0,6%-i qədər taxıl istehsal edilmişdir və bu göstəricinin təxminən ölkə üzrə orta göstəriciyə bərabər olması taxıl istehsalında Qubadlı rayonunun nə qədər böyük potensiala malik olduğunu bir daha təsdiq edir.

Müstəqillik əldə edildikdən sonra aqrar sahədə aparılan əsaslı islahatların və innovativ texnologiyaların tətbiqinin sayəsində işğaldan azad edilmiş Qubadlı rayonunda ümidverici nəticələrin əldə ediləcəyini söyləmək olar. Tədqiqatlardan bəlli olur ki, 2025-ci ilə qədər Qubadlı rayonunda taxıl istehsalının 32,4 min tona qədər artırılması gözlənilir [5].

Üzüm istehsalı potensialı. Üzümçülük Qarabağın digər rayonlarında olduğu kimi, Qubadlıda da əsas bitkiçilik sahəsi hesab olunur. 1980-1988-ci illər ərzində Qubadlı rayonunda üzüm istehsalı ölkə üzrə ümumi istehsalın 0,3 faizinə bərabər olmuşdur. Bu illərdə məhsuldarlığın ölkə səviyyəsinin 59,2 faizini təşkil etməsi üzüm istehsalı sahəsində Qubadlı rayonunun təsərrüfatçılıq ənənələrinin mövcud olduğunu göstərir.

Yeni texnika və texnologiyaların tətbiqi, həmçinin işğaldan azad olunmuş torpaqlar üçün qəbul edilmiş yeni Tədbirlər Planı çərçivəsində digər bitki növləri ilə yanaşı üzümlük sahələrinin artırılması və daha yüksək məhsuldarlığın əldə edilməsi hesabına ölkənin üzümə olan tələbatının tam təmin edilməsi gözlənilir. Üzümçülük sahəsinin, o cümlədən də texniki üzüm sortlarının yetişdirilməsi bu rayonda şərəbçilik sektorunun inkişafına da təkan verəcəkdir. Belə ki, 2025-ci ildə üzüm istehsalında Qubadlı rayonunun payı ölkədəki üzüm istehsalının 1,5 faizini təşkil edərək ki, bu da proqnozlara görə ildə 2,7 min ton üzüm deməkdir.

Bostan bitkilərinin istehsal potensialı. Qubadlı rayonunda kənd təsərrüfatı üçün xarakterik olan digər bitkiçilik sahəsi bostan bitkiçiliyidir. Tarixi keçmişə nəzər saldıqda, 1988-ci ildə 53 hektar sahədən 113 ton bostan məhsulu istehsal edilmişdir. Ümumiyyətlə, 1980-1988-ci illərdə bu göstəricinin maksimal həddi 141 ton təşkil etmişdir.

İnnovativ texnologiyaların tətbiqi, əkin sahəsinin genişləndirilməsi və yüksək məhsuldarlığın əldə edilməsinin hesabına, bostan bitkilərinin istehsal həcmnin 2025-ci ildə 3 min tona çatdırılması proqnozlaşdırılır.

2025-ci ildə Qubadlı rayonu üzrə bitkiçilik məhsulları istehsalının proqnozu

Cədvəl 1.

Bitkiçilik məhsullarının adı	Rayon üzrə əkin sahəsi proqnozu, ha	Rayon üzrə məhsuldarlıq proqnozu, sent/ha	Rayon üzrə istehsal proqnozu, ton	Rayon üzrə proqnoz istehsalın ölkə üzrə ümumi istehsaldakı payı, %
Taxıl	11866,5	27,3	32441	0,8
Tütün	500,0	40,0	2000	27,0
Kartof	396,4	39,4	1561	0,1
Tərəvəz	246,4	20,5	505,0	0,03
Bostan bitkiləri	242,0	117,8	2852	0,5
Meyvə və giləmeyvə	3000,0	19,7	5917	0,5
Üzüm	500,0	53,7	2687	1,3
Cəmi:	16751,3	-	47962	0,5

Digər növ bitkilərin istehsalı potensialı. Qubadlı rayonunda torpaq, iqlim, su resursları, eləcə də tarixən mövcud olan bitkiçilik ənənəsi bu regionda meyvə və tərəvəz istehsalının da

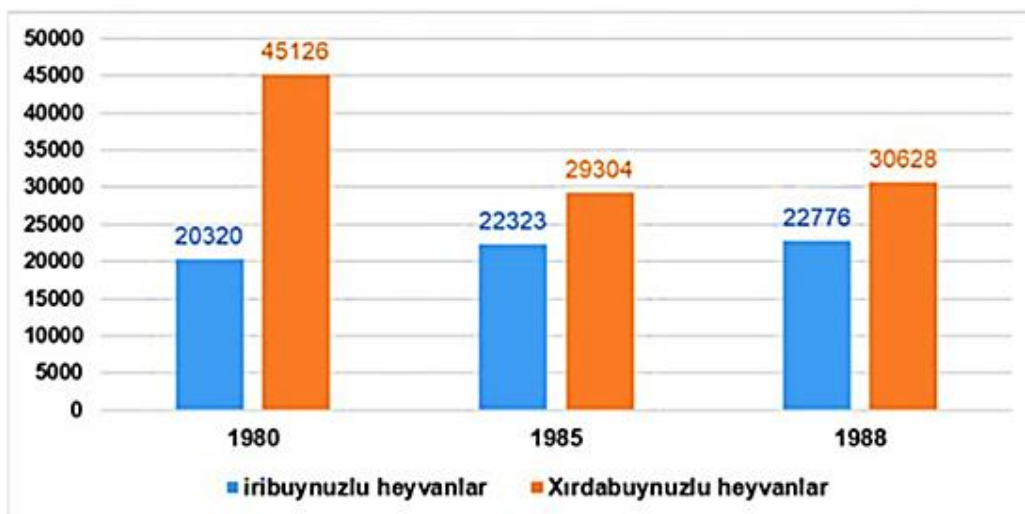
perspektivli olmasından xəbər verir. Qeyd etmək lazımdır ki, potensial nəzərə alınaraq, pilot layihə çərçivəsində bu zonada nar və xurma bağlarının salınması da həyata keçiriləcəkdir. Belə ki, ölkədə aqrar sahə bölməsi üzrə tətbiq edilən innovativ texnologiyaların sayəsində yeni, daha məhsuldar meyvə-giləmeyvə bağlarının salınmasına və istixanalarda tərəvəz yetişdirilməsinə başlanılıb. Regionlarda aqrar sənaye sektorunun inkişaf perspektivi baxımından, ölkənin bu məhsullar üzrə ərzaq təhlükəsizliyinin təminatı və ixracatının artımına Qubadlının böyük töhfəsi olacaq.

Qubadlıda mövcud olan əmək, torpaq, iqlim və su resurslarından səmərəli istifadə etməklə hazırkı dövrdə Cədvəl 1-də göstərilən istehsal həcmindən dəfələrlə çox məhsul əldə etmək mümkündür. Nəzərə almaq lazımdır ki, müasir dövrdə kənd təsərrüfatının bütün sahələrində innovativ texnologiyalardan istifadə sayəsində çox ciddi inkişaf əldə edilib. Heyvandarlıqda yeni növ cinslərin, bitkiçilikdə isə daha məhsuldar toxumların tətbiqi sayəsində işğaldan əvvəl mövcud olan istehsal həcmi ilə müqayisədə ciddi artım əldə etmək mümkündür. Bütün bunlar Qarabağda, o cümlədən də Qubadlıda kənd təsərrüfatı sektorunda əhəmiyyətli irəliləyişlərə səbəb olacaq.

Heyvandarlıq sahəsi üzrə aqrar potensialın qiymətləndirilməsi

Statistik məlumatlara əsasən, 1980-ci ildə Qubadlıda iribuynuzlu heyvanların sayı 20320 təşkil etmişdir. 1985-ci ildə 22323-ə yüksəlmiş, 1988-ci ildə isə 22776 baş olmuşdur. Xırdabuynuzlu heyvanların sayı isə 1980-ci ildə 45126 baş, o cümlədən 32724 baş qoyun, 12402 baş keçi, 1985-ci ildə 29304 baş, o cümlədən 17752 baş qoyun, 11552 baş keçi, 1988-ci ildə isə 30668 baş, o cümlədən 18294 baş qoyun, 12374 baş keçi olmuşdur. Bütün təsərrüfat kateqoriyaları üzrə diri çəkiddə ət istehsalı qeyd edilən illərdə, müvafiq olaraq 18499, 22117, 22803 ton və kəsilmiş çəkiddə ət istehsalı isə, uyğun olaraq 1093, 1296 və 1320 tona bərabər idi. Rayon üzrə bütün təsərrüfatların cəmi süd istehsalı qeyd olunan illər üzrə 7084, 9642 və 12055 ton, yun istehsalı 1980-ci ildə 682 ton və 1985-ci ildə 378 ton, yumurta istehsalı isə 1980-ci ildə 3721, 1985-ci ildə 4519, 1988-ci ildə isə 4394 min ədəd olmuşdur.

Şəkil 2-də təsvir olunana histqrammada işğaldan əvvəl Qubadlı rayonunda iri və xırda buynuzlu heyvanların sayı üzrə statistik məlumatlar verilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, iribuynuzla ev heyvanlarının sayında illər üzrə bir o qədər də hiss olunacaq fərq nəzərə çarpmasa ad, xırdabuynuzlu heyvanların sayı 1980-cı ildə daha çox olmuşdur və sonrakı 5 il ərzində 15822 ədəd azalma baş vermişdir ki, bu da faiz hesabı ilə 35% azalma deməkdir [7]. Görünür ki, bu həmin illərdə Ulu öndər H.Ə.Əliyevin Azərbaycan SSR-nin birinci katibi vəzifəsindən azad edilərək, SSRİ Nazirlər Soveti sədrinin Birinci müavini vəzifəsinə təyin olunmasından sonra Azərbaycanda ümumilikdə kənd təsərrüfatı, o cümlədən də heyvandarlıq sahəsinə diqqətin azalması ilə izah edilə bilər.



Şək.2. İşğaldan öncə Qubadlı rayonunda iri və xırdabuynuzlu heyvanların sayı.

İşğaldan azad olunduqdan sonra ümumilikdə Qarabağ və Şərqi Zəngəzur inzibati ərazilərinə daxil olan bütün rayonlarda, o cümlədən də Qubadlıda aqrar sahənin inkişaf etdirilməsi üzrə prespektiv planlar işlənir. Həmin planlara əsasən Qubadlı rayonunda 2025-ci il üçün heyvandarlıq məhsullarının istehsalı və ölkə miqyasında istehsal göstəricilərinə töhfəsi barədə proqnoz göstəricilər müəyyən edilmişdir, hansılar ki, Cədvəl 2-də göstərilib.

2025-ci ildə Qubadlı rayonu üzrə heyvandarlıq məhsulları istehsalının proqnozu

Cədvəl 2

Heyvandarlıq məhsullarının adı	Ölkə üzrə istehsal həcmi	Rayon üzrə istehsal həcmi	Rayon üzrə istehsalın ölkə üzrə olan ümumi istehsal həmində payı, %
Ət (diri)	668224	1270	0,2
Süd	2431880	47159	1,9
Yumurta, min ədəd	2104081	907702	0,4
Yun	19975	64	0,3
Cəmi:	3246324	49038	1,5

2025-ci ilə qədər Qubadlı rayonunda heyvandarlığın bərpa edilməsi sayəsində 34,1 min baş iribuynuzlu və 51,7 min baş xırdabuynuzlu ev heyvanını yetişdirmək nəzərdə tutulub ki, bu da ölkədə həm ümumilikdə bu sahənin inkişafına, həmçinin də sürü dövriyyəsinin təqribən 1,7% artımına səbəb ola bilər. Bu göstəricilərə əsasən diri çəkiddə və kəsilməmiş ət istehsalında 0,2%, yun istehsalında təqribən 0,3%, süd və yumurta istehsalında, müvafiq olaraq 1,9% və 0,4% artım gözlənilir [6].

Araşdırmalara əsasən 2025-ci ilə qədər ölkə üzrə heyvandarlıq sahəsinin inkişafında Qubadlının payının 50 min tona yaxın və yaxud 1,5% olacağı ehtimal edilir. Rayon üzrə 37,5 milyon manat dəyərində heyvandarlıq məhsulu istehsalı gözlənilir ki, bu da ölkə üzrə müvafiq istehsal miqyasında 0,8 faiz əlavə dəyər deməkdir.

Rayon əhalisinin barama istehsalının keçmişdən qalma ənənəsi də var. Ona görə də, təxminən 45-50 ton barama istehsalının mümkünlüyü nəzərə alınmalıdır.

Qubadlı rayonunda yeni taxıl, süd, gön-dəri və ipək emalı müəssisələrinin qurulması üçün böyük potensial vardır. Əgər meyvəçilik üzrə emal müəssisələri və arıçılıq məhsullarının istehsalı imkanları da nəzərə alınarsa, Qubadlıda aqrar-sənayenin təmərküzləşmiş və klasterial inkişafı iqtisadiyyata sovet dövründəkindən də çox töhfə verə bilər.

Ümumilikdə, Qubadlı rayonunda kənd təsərrüfatı infrastrukturun bərpası, yeni əkin sahələri və bağların salınması, otlaq sahələrinin, eləcə də heyvandarlıq sahəsinin inkişafı üçün zəruri infrastrukturun bərpası nəticəsində, məhsuldar dövrün başlanğıcı hesab olunan 2025-ci ildə ölkədəki kənd təsərrüfatı istehsalına əlavə töhfənin 65,1 milyon manat, başqa sözlə 0,7 faiz olacağı proqnozlaşdırılır. Təbii ki, bu proqnozlar sadəcə aqrar potensialı əhatə edir. Sonrakı dövrdə emal və dəyər zənciri üzrə aqrar-sənaye potensialı da hesablanarsa, rayonun respublika üzrə ümumi daxili məhsulda və yeni iş yerlərinin yaradılması baxımından rolu daha böyük olacaq.

1. *Саламов О.М., Гашимов А.М., Алиев Ф.Ф.* Перспективы использования солнечной энергии в Азербайджане. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология», Москва, № 02/2 (120), 2013, s.s.121-132.
2. *Rzaev P.F., Salmanova F.A., Mustafayeva R.M., Mahmudova T.A., Valizade I.E.* Application of high-potential heat of solar radiation for biomass transformation in hydrogen and hydrogen containing gases. United-journal №12, 2018, p. 31-34 Tallinn, Estonia.
3. <https://azertag.az/xeber/1700805>

4. *Salmanova, F. A.* Calculation of the Repetition Rate and the Provision of Daily Amounts of Solar Radiation: Cadastre Parameters [Text] / F. A. Salmanova, I. M. Kulieva // Applied Solar Energy. – 2007. – Vol. 43, Issue 4. – P. 243–246. doi: 10.3103/s0003701x07040123.
5. *Salamov O.M., Mamedova L.G., Efendieva N.G., Salmanova F.A., Mustafayeva R.M., Mahmudova T.A.* Prospects for obtaining a combustible mixture of gases from vegetable agricultural waste using solar energy. American Scientific Journal №50, 2021.
6. *Firuzə Salmanova, Roza Mustafayeva, Oktay Salamov, Tarana Mahmudova.* The getting of a synthetic fuel from a biomass through the solar energy. NV, United States. American Scientific Journal №18, 2018.
7. *Salmanova F.Ə.* Günəş və külək enerjilərindən istifadə etməklə əhalinin sanitar-gigiyenik şəraitinin yaxşılaşdırılması məqsədilə Respublikanın rayonlaşdırılması. Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi əsərlər toplusu, №2, 2013.

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА АГРАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ГУБАДЛИНСКОГО РАЙОНА

**ПОЛАДОВА В.Н., САЛАМОВ О.М., МУСТАФАЕВА Р.М., САЛМАНОВА Ф.А.,
МАХМУДОВА Т.А., ВАЛИЗАДЕ И.Э.**

В статье анализируются тенденции развития в агропромышленном секторе Губадлинского района до периода оккупации, приводятся сопоставительные анализы показателей, достигнутых в отдельных областях. Анализируются существующая ситуация для возможности развития аграрной промышленности, особенно в областях выращивание фруктов и овощей, зерновое хозяйство, садоводство и т.д. и оценивается эффективности использования ретроскопического метода прогнозирования для планирования будущих работ, анализируются возможности использования различные биомассы растительного и животного происхождения.

Ключевые слова: альтернативная энергия, биомасса, биоэнергия, солнечная и ветровая энергии, биомасса растительного и животного происхождения, зеленая энергия.

ASSESSMENT OF THE POTENTIAL OF THE AGRICULTURAL INDUSTRY AND BIOENERGY RESOURCES OF THE GUBADLI DISTRICT

**POLADOVA V.N., SALAMOV O.M., MUSTAFAEVA R.M., SALMANOVA F.A.,
MAKHMUDOVA T.A., VALIZADE I.E.**

The article analyzes development trends in the agro-industrial sector of the Gubadli region before the period of occupation, and provides comparative analyzes of indicators achieved in individual areas. The current situation is analyzed for the possibility of developing the agricultural industry, especially in the areas of growing fruits and vegetables, grain farming, horticulture, etc. and evaluates the effectiveness of using the retroscopic forecasting method for planning future work, and analyzes the possibilities of using various biomass of plant and animal origin.

Keywords: alternative energy, biomass, bioenergy, solar and wind energy, biomass of plant and animal origin, green energy.

DOI:10.70784/azip.5.2025167

ŞTANQLI HİDRAVLİK NASOS QURĞULARINDA ENERJİ SƏMƏRƏLİLİYİNİN ARTIRILMASI

ŞAHMAROV C.Ş., HƏŞİMOV X.X.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Baku, Azerbaijan
xanlar.hashimov.x@asoiu.edu.az*

Mürəkkəb geoloji-texnoloji şəraitdə istismar olunan dərin quyularda ştanqlı hidravlik nasos qurğuları (ŞHNQ) optimallaşdırılması enerji səmərəliliyi və hasilatı artırmaq üçün zəruridir. Quyudibi avadanlıqların optimal iş rejiminin tənzimlənməsini təmin edən qabaqcıl ŞHNQ idarəetmə sistemlərinin tətbiqi önəmli prioritetdir. Müqayisəli tədqiqatlar elektrodinamik balanslamanın üstünlüyünü göstərir, lakin regenerasiya problemlidir. Mürəkkəb quyular üçün texniki və iqtisadi həllər təklif olunur. Enerji regenerasiya prosesləri neft sahəsi şəbəkəsində reaktiv gücün artmasına və harmonik distorsiyalara səbəb olur. Aparılan eksperimental araşdırmalar nəticəsində elektrodinamik balanslama tətbiq olunan hidravlik aqreqatlar daha optimal enerji səmərəliliyi göstərir, əlavə olaraq hidravlik dizaynının sadəliyi ilə fərqlənir.

Açar sözlər: nasos, qurğular, enerji, neft, quyular, balanslaşdırma, hidravlik.

Giriş. Ölkəmizin və qonşu ölkələrin neft yataqlarındakı bir çox çıxarma quyusu istismarının son mərhələlərində (üçüncü və dördüncü) yerləşir. Belə quyular aşağı çıxarma səviyyəsi və quyudibi avadanlığının işləməsini çətinləşdirən amillərlə xarakterizə olunur. Az məhsuldar və mürəkkəb neft quyularında əsasən ştanqlı hidravlik nasos qurğularından (ŞHNQ) istifadə olunur. Bu qurğular mexaniki ötürücü – balanslaşdırılmış nasos qurğuları (BNQ) ilə təchiz edilmişdir. Ştanqlı nasosların çıxarma diapazonu $Q = 30-45 \text{ m}^3/\text{gün}$ olduqda, ŞHNQ-lər kifayət qədər yüksək enerji səmərəliliyi ilə seçilir və işlək qurğunun faydalı iş əmsalı $\eta = 0.36-0.54$ arasında dəyişir. Ağırlaşdırıcı amillərin mövcudluğu və aşağı axın səviyyələri ŞHNQ-nin səmərəliliyinin kəskin azalmasına səbəb olur. Nəticədə, ŞHNQ-nin iş göstəriciləri əhəmiyyətli dərəcədə aşağı düşür, halbuki neft hasilatının dəyəri isə əsassız şəkildə artır. Quyudakı mayenin qaldırılması üçün ənənəvi ŞHNQ-nin spesifik enerji sərfiyyatı aşağı axın səviyyəsinə malik və mürəkkəb quyular üçün orta və yüksək axın səviyyəli quyularla müqayisədə 5-10 dəfə çoxdur [1,2,3].

Balanssız ŞHNQ ötürücülərinin istifadəsi geniş amplitudalı rejimlərin təmin olunmasına və quraşdırmanın enerji səmərəliliyinin artırılmasına imkan versə də, onların istismarı elastik bağlayıcı elementlərin (zəncirlər, V-kəmərlər, polad çubuqlar və s.) etibarsızlığı ilə məhdudlaşır. Bu səbəbdən, tez-tez dəyişdirilməsi tələb olunan qısa ömürlü elastik elementlər avadanlığın dayanmasına və nəticədə neft şirkətlərinin əhəmiyyətli maddi itkilərinə səbəb olur. Daxili və xarici tədqiqat işlərində göstərilir ki, az məhsuldar və mürəkkəb quyuların ŞHNQ ilə istismar səmərəliliyini və etibarlılığını artırmağın bir yolu hidravlik ötürücüdən (HÖ) istifadədir [[4,5].

ŞHNQ hidravlik ötürücü yüksək mobillik, aşağı material sərfiyyatı, tənzimləmə rahatlığı və geniş iş rejimi diapazonuna malik olması ilə seçilir. Bu üstünlüklər sayəsində qaldırılan mayenin vahid enerji sərfiyyatı baxımından optimal ŞHNQ iş rejimlərini seçmək və qurmaq, həmçinin ağırlaşdırıcı amillərin mənfi təsirini aradan qaldırmaq üçün texniki və texnoloji tədbirlərin effektivliyini artırmaq mümkündür. Seriya istehsalı olunan ŞHNQ hidravlik ötürücüsünün enerji səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi və çətin istifadə şəraitində onların etibarlılığını artırmağa yönəlmiş texniki həllərin işlənilib hazırlanması məsələləri həm elmi, həm də praktiki baxımdan aktualıq kəsb edir [6,7,8].

Ştanqlı hidravlik nasos qurğularında hidravlik ötürücülərin enerji səmərəliliyinin artırılması.

ŞHNQ HÖ (Ştanqlı hidravlik nasos qurğuları hidravlik ötürücüsü) texnologiyasının inkişafına 20-ci əsrin ortalarında ABŞ-da başlanılmışdır, lakin balanslaşdırılmış nasos qurğuları

ilə müqayisədə aşağı effektivlik səbəbindən geniş yayılmamışdır. Lakin bu ötürücülərin kompaktlığı, daşına bilməsi və avtomatlaşdırma potensialı təkmilləşdirmə işlərinin davam etdirilməsinə yol açmışdır. ŞHNQ HÖ-nin əsas dizayn xüsusiyyətlərinə görə təsnifatı Cədvəl 1-də təqdim edilmişdir [[9,10,11].

ŞHNQ HÖ-nin konstruktiv xüsusiyyətlərinə görə təsnifatı

Cədvəl.1

Güc ötürücü element ilə balanslaşdırıcı qurğu arasındakı kinematik əlaqə	Balanslaşdırma metodu					Balanslaşdırılmamış
	Statik			Dinamik		
	Pnevmatik	Yükləmə	Ümumi	Ətalət	Elektrodinamik	
Hidravlik	Pnevmatik akkumulyatorlu ötürücü	Boru kəmərinin balanslaşdırıcı yük kimi istifadə olunduğu fərdi yükləmə qurğularına malik ötürücü.	İki və ya daha çox qurğunun qarşılıqlı balanslaşdırılması	Fərdi ötürücü ilə işləyən valçarxdan (maxovikdən) istifadə	-	Balanslaşdırılmamış ötürüçülər
Mexaniki sərt	-	Balanslaşdırılmış sərt birləşmə	-	Mühərrik valına quraşdırılmış valçarxdan istifadə	Maşının generator rejimində işləməsi	Qismən balanslaşdırılmış ötürüçülər
Mexaniki elastik	-	Kəndir aşqısında balanslaşdırıcı yük	-	-	-	-

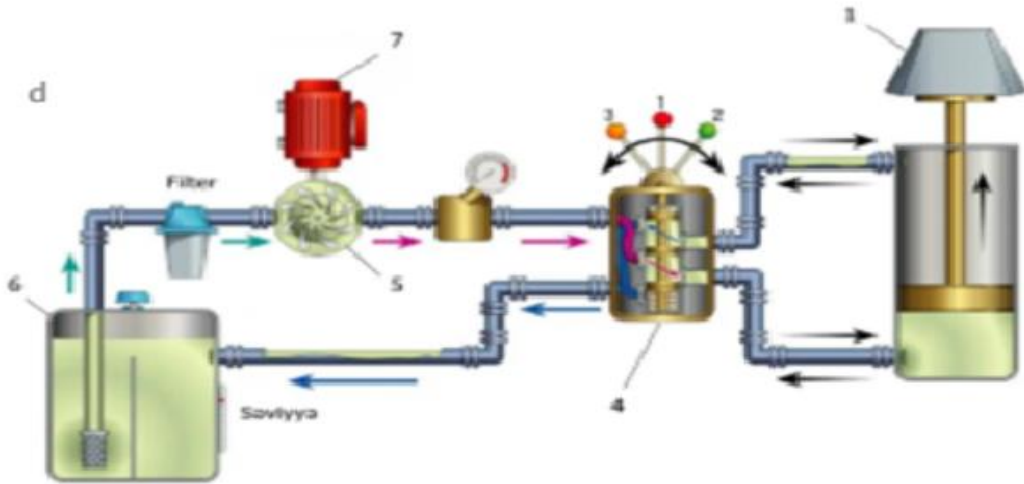
ŞHNQ HÖ modelləri, onların iş parametrlərini nəzarət edən və daxili yoxlamalar aparən sistemlərlə təchiz edilmişdir. Bu sistemlər, çıxış borularındakı təzyiq göstəricilərini izləməklə fəaliyyət göstərir, bu məlumatlar quyudibi nasos avadanlığının yükünü, texniki durumunu və iş səmərəliliyini ölçməklə dinamometrləmə adlanan prosesi həyata keçirmək üçün istifadə olunur. ŞHNQ HÖ-nin istismar səmərəliliyinə və neft yatağındakı işləmə müddətinə ən çox təsir edən amillər arasında istifadə olunan balanslaşdırma metodu, balanslaşdırmanın keyfiyyəti, balanslaşdırma qurğusundan güc elementinə enerjinin ötürülməsi üsulu və güc strukturunun xüsusiyyətləri yer alır. ŞHNQ HÖ balanslaşdırma qurğusunun seçimi, onun enerji tutumu, istismar davamlılığı ilkin işəsalma zamanı əvvəlcədən yükləmə texnologiyası və qurğunun iş rejiminin saxlanması və tənzimlənməsi nəzərə alınmaqla həyata keçirilir (Cədvəl 2).

ŞHNQ HÖ balanslaşdırıcı qurğusunun əsas parametrləri

Cədvəl.2

Parametr	Balanslaşdırıcı qurğu		
	Pnevmatik	Tarazlaşdırıcı	Ətalət
Xüsusi enerji tutumu, kJ/kq	25-30	1-6	100-200
Səmərəlilik, %	97	98	95
Enerji saxlama müddəti, saat	Limitli deyil	Limitli deyil	0.05 – 0.1
Doldurma-boşalma dövrlərinin (tsikllərinin) sayı	10^7	Limitli deyil	Limitli deyil
Azaldılmış davamlılıq (ŞNAN-ın 1 m gedişinə görə), saat	$1.7 \cdot 10^4$	Limitli deyil	Limitli deyil

ŞHNQ HÖ balanslaşdırılması, yük parametrlərindən asılı olaraq müxtəlif metodoloji yanaşmaları tətbiq edir. BNQ protokollarına əsaslanan bu yanaşmalar, ŞHNQ HÖ sistemlərinin dinamik yük rejimlərinə adaptasiya edilir. BNQ-lərdə fırlanma momentinin zamana görə dəyişimi sinusoidal, hidravlik ötürücülərdə isə xətti tendensiyaya yaxındır. İdeal balanslaşdırma halında, ani güc sabit olmalı və orta gücə ekvivalent olmalıdır. Praktiki çətinliklər səbəbindən, balanslaşdırma effektivliyi minimal güc dispersiyası ilə ölçülür. Neft yataqlarında balanslaşdırma keyfiyyəti və enerji səmərəliliyi, mühərrik gücünün davamlı izlənməsi ilə əldə olunan məlumatlarla təhlil edilir. Əsasən pnevmatik və elektrodinamik balanslaşdırılmış ŞHNQ HÖ sistemləri tətbiq olunur. Bu sistemlər uzaqdan parametrik idarəetmə və özünüdiaqnostika funksiyaları ilə təchiz edilib şəkil-1.



Şəkil 1. ŞHNQ ötürücüsü: 1 – güc hidravlik silindri; 2 – aralıq hidravlik silindr; 3 – pnevmatik akkumulyator; 4 – hidravlik paylayıcı; 5 – hidravlik nasos; 6 – çən; 7 – elektrik mühərriki.

ŞHNQ HÖ-nin yük dinamikasının və yük miqdarının təhlili, sınaqdan keçirilən nasos sistemlərinin enerji effektivliyinin müəyyən edilməsi üçün "NPP "ROS" MMC (Perm) tərəfindən istehsal olunan və geniş istifadəyə verilmiş AKD-SK proqram-qeydiyyat kompleksi və onun tərkib hissəsi olan proqram təminatının köməyi ilə reallaşdırılmışdır. Bu kompleks, ŞHNQ HÖ mühərriklərinin enerji göstəricilərini dəqiq olaraq izləmək məqsədi daşıyır, kommersiya olaraq bazarda mövcuddur və ölçmə aləti olaraq rəsmi dövlət sertifikatına malikdir. ŞHNQ HÖ elektrik mühərriklərinin parametrləri aşağıdakı düsturlara uyğun olaraq müəyyən edilir:

Cərəyanın effektiv qiyməti

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n i_m^2},$$

Burada n – müəyyən (sabit) ΔT zaman intervalı üçün ölçmə nöqtələrinin sayı; i_m^2 – cərəyanın m -ci zaman anındakı ani qiyməti;

Gərginliyin effektiv qiyməti

$$U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n u_m^2},$$

u_m^2 – fazalararası gərginliyin m -ci zaman anındakı ani qiyməti.

ŞHNQ HÖ elektrik mühərrikinin aktiv N_a (kVt) və tam gücü S_w (kV·A) aşağıdakı düsturlara uyğun olaraq hesablanır:

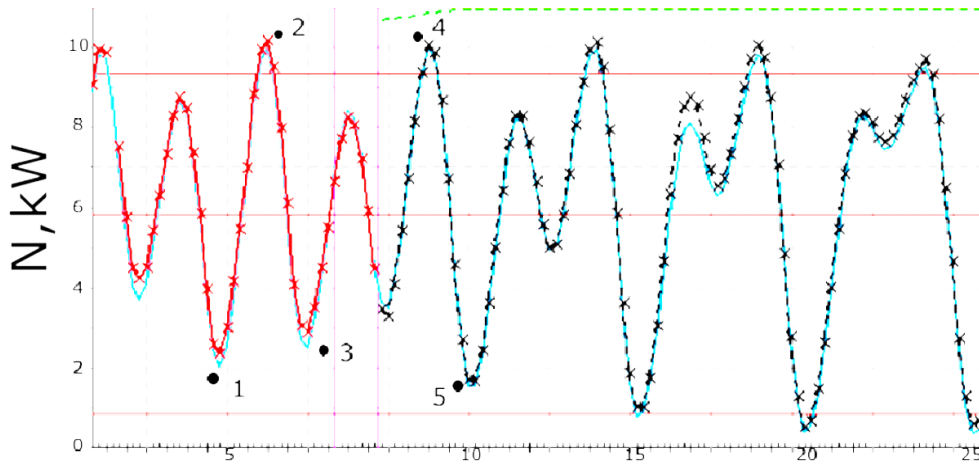
$$N_a = \frac{3}{n} \sum_{m=1}^n u_m i_m ; \quad S_w = 3 \cdot I_{ef} U_{ef}$$

Güc əmsalı aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$\cos \varphi = \frac{N_a}{S_w}$$

İstismar nəzarəti məlumatları cihazın daxili yaddaşında saxlanılır. Neft yatağının mühəndisləri və texniki işçiləri tələb etdikdə, bu məlumatlar şəbəkə vasitəsilə göndərilir. Xüsusi proqramlar vasitəsilə monitoring nəticəsində toplanan məlumatlar analiz edilir və qrafik şəklində göstərilir.

Misal olaraq, Şəkil 2-də balanslaşdırılmış BNQ-8 (Balanslaşdırılmış nasos qurğusu) mühərrikinin işləməsi zamanı əldə edilən vatmetr diaqramı təsvir olunub. Yaşıl işarə ŞNASN-nin (Ştanqlı nasos asqı nöqtəsi) yuxarı mövqeyini göstərir, bu da krankın aşağı mövqeyinə uyğun gəlir. Balanslaşdırılmış BNQ-nin balanslayıcı başlığının hər bir hərəkət dövrü (bir yelləncək) iki güc zirvəsi ilə xarakterizə olunur. Balanslaşdırılmış BNQ üçün bu zirvələr arasındakı fərq 10%-dən çox olmamalıdır.



Şəkil 2. BNQ-8 balanslaşdırıcı mühərrikinin vatmetr diaqramı:
krankın aşağı (1, 5), horizontal (2, 4) və yuxarı (3) vəziyyətləri

Müasir neft hasilatında dərin və mürəkkəb quyuların istismarı zamanı enerji səmərəliliyinin artırılması əsas problemlərdən biridir. Ştanqlı hidravlik nasos qurğuları (ŞHNQ) neft quyularında geniş tətbiq olunan avadanlıqlardan biri olsa da, onların ənənəvi mexaniki ötürücülərlə təchiz edilməsi enerji sərfiyyatını artırır. Hidravlik ötürücülü ŞHNQ-lərin tətbiqi bu sahədə yeni texnoloji imkanlar yaradır və sistemin idarədilməsini təkmilləşdirməyə imkan verir. Hidravlik ötürücülərin balanslaşdırma metodları və idarəetmə sistemlərinin səmərəliliyinə təsiri mühüm tədqiqat mövzudur. Xüsusilə, pnevmatik, elektrodinamik və yük balanslaşdırılmalı ötürücülərin müqayisəsi optimal həll yollarının müəyyən edilməsinə kömək edir. Neft quyularında istismar xərclərinin azaldılması və hasilatın dayanıqlılığının artırılması üçün hidravlik ötürücülərin tətbiqinin iqtisadi səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi vacibdir. Tədqiqatlar göstərir ki, balanslaşdırma texnologiyalarının düzgün seçilməsi enerji qənaəti ilə yanaşı, sistemin istismar müddətini də artırır. Bu baxımdan, ŞHNQ hidravlik ötürücülərinin səmərəliliyini artırmaq üçün kompleks yanaşmalar tələb olunur. Aparılan tədqiqatlar ŞHNQ-lərin balanslaşdırma metodlarının optimallaşdırılması və idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi istiqamətində mühüm nəticələr əldə etməyə imkan verir. Bu hesabatda müxtəlif balanslaşdırma metodlarının enerji effektivliyinə təsiri təhlil edilərək optimal həllər təklif olunmuşdur.

Ştanqlı hidravlik nasos qurğularında hidravlik ötürücülərin enerji səmərəliliyinin artırılması üçün effektiv qiymətlərinin hesablanması

1. Cərəyanın və gərginliyin effektiv qiymətlərinin hesablanması

Ştanqlı hidravlik nasos qurğularının (ŞHNQ) enerji parametrlərinin qiymətləndirilməsi üçün cərəyanın və gərginliyin effektiv qiymətləri hesablanır. Bu hesablamalar aşağıdakı düsturlara əsaslanır:

- Cərəyanın effektiv qiyməti: $I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n i_m^2}$ düsturu ilə hesablanır.

Burada, n – ölçmə nöqtələrinin sayı, i_m – cərəyanın m -ci zaman anındakı ani qiymətidir.

- Gərginliyin effektiv qiyməti: $U_{ef} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n U_m^2}$ düsturu ilə hesablanır.

Burada u_m – fazalararası gərginliyin m -ci zaman anındakı ani qiymətidir.

Hesablamalar nəticəsində aşağıdakı dəyərlər əldə olunmuşdur: Cərəyanın effektiv qiyməti: 15.43 A, Gərginliyin effektiv qiyməti: 389.85 V

2. Aktiv güc, tam güc və güc əmsalının hesablanması

ŞHNQ hidravlik ötürücüsünün mühərriklərinin enerji parametrləri aşağıdakı düsturlar

vasitəsilə hesablanır: $N_a = \frac{3}{n} \sum_{m=1}^n u_m i_m$

Bu hesablamalar nəticəsində aktiv güc 17749.55 kW olaraq təyin edilmişdir.

- Tam güc $S_w = 3 \cdot I_{ef} \cdot U_{ef}$ düsturu ilə hesablanır.

Hesablamalar nəticəsində tam güc 18049.06 kVA olaraq müəyyən edilmişdir.

- Güc əmsalı ($\cos \varphi$) $\cos \varphi = \frac{N_a}{S_w}$ düsturu ilə hesablanır.

Bu düstura əsasən güc əmsalı 0.98 olaraq müəyyən edilmişdir.

3. Orta xüsusi enerji sərfinin hesablanması

ŞHNQ-nin işləməsi zamanı quyu mayesinin hasilatı üçün orta günlük xüsusi enerji sərfi

aşağıdakı düsturla hesablanmışdır: $H_{w.i} = \frac{\sum W_{gun.i}}{Q_{ph.i}}$

Burada, $W_{gun.i}$ – ŞHNQ-nin i -ci iş günü üçün ümumi enerji sərfi (kVts), $Q_{ph.i}$ – ŞHNQ-nin i -ci iş günü üçün məhsuldarlığı ($m^3/gün$).

Bu hesablamalar nəticəsində orta xüsusi enerji sərfi 8.4 kWh/ m^3 olaraq müəyyən edilmişdir.

4. Enerji produktivliyi əmsalının hesablanması

ŞHNQ ötürücüsünün enerji effektivliyinin müqayisəsi üçün enerji produktivliyi əmsalı

aşağıdakı düsturla müəyyən edilir: $k_{e.ef} = \frac{H_{w.b}}{H_{w.test}}$

Burada, $H_{w.b}$ – əsas sistemin enerji sərfi (kWh/ m^3), $H_{w.test}$ – test edilən sistemin enerji sərfi (kWh/ m^3).

Hesablamalar nəticəsində enerji produktivliyi əmsalı 1.43 olmuşdur ki, bu da test edilən sistemin daha səmərəli işlədiyini göstərir.

5. Xalis gətirilmiş dəyər (NPV) hesablaması

Xalis Gətirilmiş Dəyər (NPV) layihənin iqtisadi səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün istifadə olunur və aşağıdakı düsturla hesablanır:

$$\Delta NPV \sum = \sum_{t=0}^P \frac{\Delta O_t - \Delta T_t + \Delta C_t + \Delta A_t}{(1+r)^t}$$

Burada, P – layihənin həyata keçirilmə müddəti (il), ΔO_t – t -ci dövr üçün istismar xərclərindəki azalma, ΔT – t -ci dövr üçün mənfəət vergisindəki dəyişiklik, ΔC_t – t -ci dövr üçün kapital qoyuluşlarındakı fərq, ΔA_t – t -ci dövr üçün amortizasiya ayrımlarındakı fərq, r – diskont dərəcəsi.

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, ştanqlı hidravlik nasos qurğularının (ŞHNQ) hidravlik ötürücülərlə təchiz edilməsi mürəkkəb geoloji-texnoloji şəraitdə neft hasilatının enerji səmərəliliyini artırmağa imkan verir. Müxtəlif balanslaşdırma metodlarının müqayisəli təhlili göstərir ki, ənənəvi mexaniki ötürücülər (BNQ) müəyyən hallarda yüksək enerji səmərəliliyi nümayiş etdirsə də, onların istismar müddəti və texniki xidmət xərcləri yüksəkdir. Pnevmatik balanslaşdırılmalı hidravlik ötürücülər (HÖ) geniş tənzimləmə imkanlarına malik olsa da, əlavə qaz və maye sızmalarının kompensasiyası üçün əlavə avadanlıqlara ehtiyac duyur ki, bu da onların istismarını mürəkkəbləşdirir. Elektrodinamik balanslaşdırılmalı hidravlik ötürücülər isə konstruktiv sadəliyə malik olsa da, enerji rekuperasiyası zamanı şəbəkədə reaktiv güc və harmonik distorsiyalar yaradır, bu da əlavə kompensasiya tədbirlərinin tətbiqini zəruri edir.

Tədqiqatlar göstərir ki, balanslaşdırma sistemlərinin effektivliyi əsasən mühərrik gücünün dinamik idarə olunması və enerji itkisini minimuma endirən idarəetmə mexanizmlərinin tətbiqi ilə artırıla bilər. Hidravlik ötürücülərdə tətbiq edilən yük balanslaşdırma texnologiyası isə həm sistemin etibarlılığını artırır, həm də enerji qənaətini optimallaşdırır. Bu tip ötürücülərin əsas üstünlüyü əlavə enerji toplayıcı nasos və akkumulyator sistemlərinə ehtiyac olmadan balanslaşdırmanı təmin etməsidir ki, bu da istismar xərclərinin azalmasına səbəb olur. Bununla belə, bu sistemlər mexaniki konstruksiya baxımından daha böyük metal sərfiyyatı və mürəkkəb montaj prosesi ilə xarakterizə olunur.

Enerji səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi üçün aparılmış hesablamalar göstərir ki, pnevmatik balanslaşdırılmalı HÖ-lərdə enerji produktivliyi əmsalı təxminən 0.54, elektrodinamik balanslaşdırmada 0.62, yük balanslaşdırılmalı sistemlərdə isə 0.75-0.80 arasında dəyişir. Bu nəticələr göstərir ki, yük balanslaşdırılmalı sistemlər ən stabil və səmərəli işləyən hidravlik ötürücülər sırasındadır. Bundan əlavə, xalis gətirilmiş dəyər (NPV) hesablamaları göstərir ki, yük balanslaşdırılmalı hidravlik ötürücülərin tətbiqi ilə ümumi istismar xərcləri 15-20% azaldıla bilər.

Hesablamalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, elektrodinamik balanslaşdırılmalı sistemlər enerji rekuperasiyası ilə 25-29% enerjini geri qaytarma potensialına malikdir, lakin şəbəkəyə olan təsirlər səbəbindən əlavə filtrasiya və kompensasiya qurğularına ehtiyac duyulur. Pnevmatik balanslaşdırılmalı sistemlər tənzimlənmə baxımından üstünlüklərə malik olsa da, yüksək enerji sərfiyyatı və aşağı səmərəliliyi ilə seçilir. Yük balanslaşdırılmalı sistemlərin ən vacib üstünlüklərindən biri onların uzunmüddətli istismar etibarlılığı və daha az texniki xidmət tələb etməsidir.

Ümumilikdə, tədqiqatların nəticələri göstərir ki, mürəkkəb və az məhsuldar quyuların istismarı zamanı optimal enerji səmərəliliyi və iqtisadi baxımdan ən səmərəli seçim yük balanslaşdırılmalı hidravlik ötürücülərdir. Bu texnologiyanın tətbiqi neft hasilatında texniki xidmət xərclərini azaltmağa, enerji sərfiyyatını minimuma endirməyə və nasos qurğularının istismar müddətini artırmağa imkan verir. Bundan əlavə, hidravlik ötürücülərin avtomatik idarəetmə sistemləri ilə inteqrasiyası quyuların iş rejiminin adaptiv tənzimlənməsini təmin edərək hasilat prosesinin effektivliyini artırır. Nəticə olaraq, hidravlik ötürücülərin daha geniş tətbiqi və yeni nəsil balanslaşdırma sistemlərinin inkişafı neft hasilatı sənayesində mühüm texnoloji irəliləyişlərə səbəb ola bilər.

NƏTİCƏ

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, ştanqlı hidravlik nasos qurğularının (ŞHNQ) enerji səmərəliliyinin artırılması üçün hidravlik ötürücülərin tətbiqi mühüm texnoloji həll yolu kimi çıxış edir. Müqayisəli təhlillər göstərmişdir ki, ənənəvi mexaniki ötürücülər müəyyən şəraitlərdə qənaətcil olsa da, onların uzunmüddətli istismar dövrü ərzində texniki xidmət və

təmir xərcləri yüksək olur. Pnevmatik və elektrodinamik balanslaşdırılmalı sistemlərin istifadəsi tənzimlənmə imkanlarını genişləndirsə də, onların yüksək enerji sərfiyyatı və şəbəkəyə təsiri əlavə tədbirlərin görülməsini tələb edir. Yük balanslaşdırılmalı hidravlik ötürücülərin tətbiqi həm sistemin etibarlılığını artırır, həm də enerji itkilərinin azaldılmasına və hasilat prosesinin səmərəliliyinin yüksəldilməsinə imkan yaradır. Ümumilikdə, hidravlik ötürücülərin avtomatik idarəetmə sistemləri ilə inteqrasiyası və balanslaşdırma mexanizmlərinin optimallaşdırılması gələcəkdə neft hasilatının dayanıqlı və effektiv şəkildə idarə olunmasına şərait yaradacaq.

1. *Myrzakhmetov B.A., Nurkas ZhB., Sultabaev A.E.* Protection of downhole pumping equipment in case of high sand production. *Gornyi Zhurnal*, 2022, No. 7, pp. 82-86 (in Russian). DOI: 10.17580/gzh.2022.07.14
2. *Beallessio B.A., Blanquez Alonso N.A., Mendes N.J., et al.* A review of enhanced oil recovery (EOR) methods applied in Kazakhstan. *Petroleum*, 2021, Vol. 7, Issue 1, pp. 1-9. DOI: 10.1016/j.petlm.2020.03.003
3. *Lavrenko S., Klushnik I., Iarmolenko V.* Test results for hydraulic drives of sucker-rod pumping units. *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2019, Vol. 14, No. 16, pp. 2881-2885.
4. *Grigorev S.L., Demidov O.V.* Rod pump hydraulic drive – a new oil production technology. *Territoriya NEFTEGAZ*, 2020, No. 10, p. 59 (in Russian).
5. *Ximmin Song, Debin Qu, Cunyou Zou.* Low-cost development strategy for oilfields in China under low oil prices. *Petroleum Exploration and Development*, 2021, Vol. 48, Issue 4, pp. 1007-1018. DOI: 10.1016/S1876-3804(21)60085-X
6. *Drozdov A.N., Blokhin S.A., Pak D.X., et al.* Analysis of the efficiency of the hydraulic drive “Geron” application as an alternative to the usage of standard pumpjack. *Trudy nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem “Inzhenernye temy – 2019”*, 3-5 April 2019, Moscow, Russian Federation. Moscow: Peoples’ Friendship University of Russia, 2019, p. 360 (in Russian).
7. *Fei Yao, Yu-Xue Sun, Dekui Xu, et al.* Research Status and Development Trend of Clean Operation Technology in Domestic Onshore Oilfield. *Proceedings of the International Field Exploration and Development Conference 2020*, Singapore: Springer, 2020, pp. 2331-2342. DOI: 10.1007/978-981-16-0761-5_220
8. *Youhong Sun, Yuanling Shi, Qingyan Wang, Zongwei Yao.* Study on speed characteristics of hydraulic top drive under fluctuating load. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2018, Vol. 167, pp. 271-286. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.04.003
9. *Abebe A., Tadesse Y., Beyene A.* Conversion of Thermally Amplified Hydraulic Shock for Power Generation: Modeling and Experimental Analyses. *Journal of Energy Resources Technology*, 2023, Vol. 145, Issue 2, No. 022103. DOI: 10.1115/1.4054826
10. *Molchanov A.G.* Scientific basis for the design and operation of hydraulically driven sucker-rod pumping units for oil production.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ШТАНГОВЫМИ НАСОСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПЕРЕМЕННЫХ СОСТОЯНИЯ

ШАХМАРОВ Д.Ш., ГАШИМОВ Х.Х.

Оптимизация работы штанговых гидравлических насосных установок (ШГНУ), эксплуатируемых в глубоких скважинах в сложных геолого-технологических условиях, является необходимым условием для повышения энергоэффективности и увеличения добычи. Внедрение передовых систем управления ШГНУ, обеспечивающих оптимальный режим работы скважинного оборудования, является важным приоритетом.

Сравнительные исследования демонстрируют преимущества электродинамической балансировки, однако процесс регенерации вызывает определенные сложности. Для сложных скважин предложены технические и экономические решения. Процессы регенерации энергии приводят к увеличению реактивной мощности и гармоническим искажениям в нефтяной сети. Экспериментальные исследования показали, что гидравлические агрегаты с электродинамической балансировкой обладают более высокой энергоэффективностью и, кроме того, отличаются простотой гидравлической конструкции.

Ключевые слова: насос, установки, энергия, нефть, скважина, балансировка, гидравлика.

INVESTIGATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS OF ROD PUMPS USING THE STATE VARIABLES METHOD

SHAHMAROV J.Sh., HASHIMOV Kh.Kh.

Optimization of rod hydraulic pump units (RHPU) operating in deep wells under complex geological and technological conditions is essential for improving energy efficiency and increasing production. The application of advanced RHPU control systems, which ensure the optimal operating mode of downhole equipment, is a significant priority. Comparative studies demonstrate the advantages of electrodynamic balancing, although regeneration presents challenges. Technical and economic solutions are proposed for complex wells. Energy regeneration processes contribute to an increase in reactive power and harmonic distortions in the oil field network. Experimental studies have shown that hydraulic units with electrodynamic balancing exhibit superior energy efficiency and, additionally, stand out for their simplicity in hydraulic design.

Keywords: pump, units, energy, oil, well, balancing, hydraulic.

DOI:10.70784/azip.5.2025175

SƏNAYE ŞƏBƏKƏLƏRİNDƏ VEKTORLU TELEÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİNİN İNKİŞAFI VƏ TƏTBİQİ

İBRAHİMLİ A.R., QOÇUYEVA A.F.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20, Bakı,
Azərbaycan, AZ1010
araz.ibrahimli2001@gmail.com*

Sənaye şəbəkələrində vektorlu teleölçmə sistemləri (PMU – Phasor Measurement Units) enerji sistemlərinin real vaxtda monitorinqi və idarə olunması üçün mühüm texnologiyadır. Bu sistemlər elektrik siqnallarının amplitudasını, fazasını və tezliyini yüksək dəqiqliklə və sinxron şəkildə ölçərək enerji sisteminin vəziyyətini dəqiq təyin etməyə imkan verir. Ənənəvi SCADA sistemləri ilə müqayisədə daha operativ və informativ olan PMU-lar şəbəkənin sabitliyinin izlənməsi, qəza hallarının vaxtında aşkarlanması və enerji keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması sahəsində geniş imkanlar yaradır.

Açar sözlər: sənaye şəbəkələri, vektorlu teleölçmə, analiz sistemləri

Giriş. Vektor telemetriya sistemləri zamanla dəyişən məlumat xüsusiyyətlərini ölçmək və bu məlumatları uzun məsafələrə ötürmək üçün nəzərdə tutulmuş texnologiyalardır. Bu sistemlər əsasən sənaye şəbəkələrində istehsal, paylama, enerji təchizatı və digər mühüm parametrlərə nəzarət etmək üçün istifadə olunur. Vektor telemetriya sistemlərinin əsas xüsusiyyətləri yüksək dəqiqlik, etibarlılıq və uzun məsafələrə məlumat ötürmək qabiliyyətidir.

Dünyada ABŞ, Avropa və Asiya ölkələri bu texnologiyanın tətbiqini genişləndirmişdir. Azərbaycanda da enerji infrastrukturunun modernləşdirilməsi çərçivəsində bu sistemlərin tətbiqinə başlanmışdır. Gələcəkdə PMU-ların süni intellekt və 5G texnologiyaları ilə inteqrasiyası, eləcə də kibertəhlükəsizlik sahəsində tədbirlərin gücləndirilməsi bu sistemlərin effektivliyini daha da artıracaqdır.

Bu sistemlər sensorlar, məlumat toplayıcıları, rabitə modulları və məlumatların təhlili proqram təminatından ibarətdir. Sensorlar müvafiq parametrləri (temperatur, təzyiq, cərəyan və s.) ölçür, məlumat qeydiyyatı aparıcılar bu məlumatları toplayır və rabitə modulu vasitəsilə məlumatların emalı mərkəzinə göndərirlər. Toplanmış məlumatlar data mərkəzində işlənir və təhlil edilir.

Elektrik enerjisinin istehsalı, paylanması və istifadəsi zamanı elektrik şəbəkəsinin vəziyyətinə davamlı olaraq nəzarət edilməlidir. Vektor telemetriya sistemləri bu şəbəkələrdə enerji axını, təzyiq və gərginliyi ölçməklə optimal əməliyyatı asanlaşdırır. Bu sistemlər sənaye istehsal proseslərində müxtəlif fiziki və kimyəvi parametrləri ölçmək və nəzarət etmək üçün istifadə olunur.

Vektor telemetriya sistemləri ətraf mühitin monitorinqində, xüsusilə temperatur, rütubət və havanın keyfiyyəti kimi parametrləri ölçərkən təsirli olur.

Nəticələr və müzakirələr

Son on ildə vektor telemetriya sistemləri sürətlə inkişaf etmişdir. Bu inkişafın əsas səbəbləri sensor texnologiyasının və kommunikasiya infrastrukturunun inkişafı, məlumatların ötürülmə sürətinin artması və yüksək dəqiqlikli ölçmə texnologiyasının tətbiqidir. Bundan əlavə, Sənaye 4.0 və Əşyaların İnterneti (IoT) kimi yeni texnoloji yeniliklər vektor telemetriya sistemlərinin istifadəsini populyarlaşdırdı.

Yüksək dəqiqlikli sensorlar daha geniş ölçmə diapazonu və daha az enerji istehlakı ilə daha dəqiq məlumat verir. Sürətli məlumat ötürmə texnologiyası vektor telemetriya sisteminə real vaxt rejimində işləməyə imkan verir. Toplanmış məlumat sadəcə toplanmır; Təhlil şəbəkə performansını yaxşılaşdırmağa kömək edən süni intellekt və maşın öyrənmə sistemlərindən istifadə etməklə həyata keçirilir.

Vektor telemetriya sistemlərini sənaye şəbəkələrinə inteqrasiya etməklə şəbəkə idarəetmə prosesləri daha çevik və səmərəli olur. Məsələn, bu sistemlər enerji istehsalı və paylayıcı şəbəkələrində enerji istehsalı və istehlakı balansını təmin edir.

Vektor telemetriya sistemləri sənaye şəbəkələrində sürətli qərar qəbul etməyə imkan verən real vaxt rejimində məlumatları toplayır və təhlil edir. Sistemlər müntəzəm olaraq məlumatları təhlil edir və hər hansı anomaliya aşkar edildikdə xəbərdarlıq göndərir. Sənaye şəbəkələrində fəvqəladə hallara və avadanlıqların nasazlığına vaxtında reaksiya verilməsini təmin etməklə sistemin dayanıqlığı artırılır.

Sənaye şəbəkələrində vektor telemetriya sistemlərinin tətbiqi bir sıra çətinliklərlə bağlıdır. Bəzi sənaye şəbəkələri yüksək temperaturlara, təzyiqlərə və ya zərərli kimyəvi maddələrə məruz qalır ki, bu da sensorların dəqiqliyini azaldır. Şəbəkələr üzərindən ötürülən məlumatların təhlükəsizliyi xüsusilə sənaye casusluğunun qarşısını almaq üçün mühüm məsələdir. Yüksək dəqiqlikli sensorlar və rabitə sistemləri bəzən baha başa gələ bilər ki, bu da kiçik və orta biznes üçün əlverişli olmaya bilər.

Vektor telemetriya sistemləri sənaye və enerji sektorlarında bir çox üstünlüklər təklif edir:

- Yüksək dəqiqlik: Ölçmə vasitələrinin dəqiqliyi 1 mikrosaniyə qədər aşağı ola bilər.
- Real vaxt rejimində monitoring: Enerji sistemində baş verən hadisələr dərhal izlənilə bilər.
- Məlumat sinxronlaşdırılır: GPS əsaslı sinxronizasiya sayəsində bütün ölçmələr eyni vaxtda həyata keçirilir.

- Şəbəkə sabitliyinin qorunması: Enerji sistemindəki fəvqəladə vəziyyətlərə dərhal müdaxilə edilə bilər.

Gələcəkdə vektor telemetriya sistemlərinin daha da inkişafı gözlənilir. Aşağıdakı sahələrdə yeni texnologiyaların tətbiqi gözlənilir: • Süni intellekt və maşın öyrənməsi: Bunlar şəbəkə hadisələrini daha dəqiq təhlil edərək onları proqnozlaşdırmaq qabiliyyətini təkmilləşdirməyə kömək edəcək.

- Əşyaların İnterneti (IoT) inteqrasiyası: Ağıllı cihazların və sensorların şəbəkəyə qoşulması daha geniş miqyaslı monitoringi təmin edəcək.

- Blockchain texnologiyasından istifadə: Onlar enerji mübadiləsinin daha təhlükəsiz və şəffaf idarə olunmasına töhfə verəcəklər.

Vektor telemetriya sistemləri fiziki proseslərdən alınan məlumatları yüksək dəqiqliklə ölçmək, təhlil etmək və ötürmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Klassik telemetriya üsullarından fərqli olaraq, bu sistemlər həm də məkan komponentlərini, diapazonu və amplitudu təxmin edə bilər.

Vektor telemetriya sistemləri skayar və vektor məlumatlarını eyni vaxtda ölçməklə dəqiq analiz etməyə imkan verir.

Müasir dövrdə enerji sistemlərinin təhlükəsiz, etibarlı və effektiv idarə olunması üçün yeni texnologiyaların tətbiqi zəruri hala gəlmişdir. Bu texnologiyalar arasında vektorlu teleölçmə sistemləri (Phasor Measurement Units – PMU) mühüm yer tutur. Bu sistemlərin əsas üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onlar enerji şəbəkəsinin müxtəlif nöqtələrində elektrik parametrlərini (gərginlik, cərəyan, tezlik, faza bucağı və s.) sinxron şəkildə və yüksək tezliklə ölçə bilər. Bu məlumatlar vasitəsilə enerji sisteminin cari vəziyyəti real vaxt rejimində dəqiq şəkildə təhlil olunur, qəza halları dərhal aşkarlanır və qarşısının alınması üçün operativ qərarlar qəbul edilə bilər.

Aparılmış araşdırmalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, vektorlu teleölçmə sistemlərinin sənaye enerji şəbəkələrində tətbiqi aşağıdakı mühüm nəticələrin əldə olunmasına imkan verir: sistemin sabitliyinin təmin olunması, enerjinin ötürülməsi zamanı itkilərin minimuma endirilməsi, qəza hallarının tez aşkarlanması və aradan qaldırılması, generasiya və istehlak arasında tarazlığın qorunması, həmçinin elektrik enerjisi keyfiyyətinin yüksəldilməsi. Bundan əlavə, vektorlu teleölçmə sistemləri vasitəsilə əldə edilən məlumatların analizi nəticəsində enerji şəbəkələrinin idarə olunmasında qabaqlayıcı tədbirlərin görülməsi və süni intellektə əsaslanan idarəetmə sistemlərinin formalaşdırılması mümkün olur.

Lakin qeyd edilməlidir ki, bu sistemlərin uğurlu tətbiqi üçün bir sıra texniki və təşkilati şərtlərin yerinə yetirilməsi vacibdir. Bunlara yüksək dəqiqliyə malik GPS əsaslı sinxronizasiya qurğularının istifadəsi, təhlükəsiz və genişzolaqlı məlumat ötürmə kanallarının mövcudluğu, yüksək sürətli məlumat emal mərkəzlərinin yaradılması və bu sahədə ixtisaslı kadr potensialının formalaşdırılması daxildir. Əks halda, sistemdən gözlənilən səmərəlilik əldə olunmaya bilər.

Bu sistemlərin tətbiqi nəticəsində dispetçer idarəetməsi daha çevik və dəqiq həyata keçirilir, çünki sistemin real vəziyyəti bəzə saniyədə 30-60 dəfə sinxronlaşdırılmış məlumat alınır. Beləliklə, enerji axınlarının optimallaşdırılması, yüklənmələrin balanslaşdırılması və potensial təhlükələrin proqnozlaşdırılması asanlaşır. Xüsusilə, böyük və mürəkkəb sənaye müəssisələrində bu texnologiyaların tətbiqi şəbəkənin ümumi təhlükəsizliyinə və funksional səmərəliliyinə birbaşa təsir göstərir.

NƏTİCƏ

Nəticə olaraq demək olar ki, vektorlu teleölçmə sistemləri sənaye enerji şəbəkələrinin rəqəmsallaşmasında, effektiv və intellektual idarəetməyə keçiddə, qəza hallarında operativ müdaxilənin təmin olunmasında və ümumilikdə enerji təhlükəsizliyinin gücləndirilməsində mühüm rol oynayır. Bu texnologiyanın genişmiqyaslı tətbiqi enerji sistemlərinin çevikliyini, dayanıqlığını və etibarlılığını artırmaqla yanaşı, enerji iqtisadiyyatında müasir çağırışlara cavab verən yeni bir mərhələnin əsasını qoyur.

1. *Antonello Monti, Carlo Muscas, Ferdinanda Ponci.* Phasor Measurement Units and Wide Area Monitoring Systems. Academic Press, 2016.
2. *Arun G. Phadke, James S. Thorp.* Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. Springer, 2017.
3. *Арун Г. Фадке, Джеймс С. Торп.* инхронизированные векторные измерения и их применение. Техносфера, 2021, 318.
4. *Bədəlov. A.Z., Nəbiyev R.N., Məmmədov A.Z.* Aviasiya cihazları və informasiya-ölçmə sistemləri. MAA, Bakı, 2017, 382 səhifə.

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ВЕКТОРНОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЯХ

ИБРАГИМЛИ А.Р., ГОЧУЕВА А.Ф.

Векторные измерительные устройства (PMU) в промышленных сетях являются важной технологией для мониторинга и управления энергосистемами в режиме реального времени. Эти системы позволяют точно определять состояние энергосистемы путем измерения амплитуды, фазы и частоты электрических сигналов с высокой точностью и синхронно. Более оперативные и информативные, чем традиционные системы SCADA, PMU создают широкие возможности для мониторинга стабильности сети, своевременного обнаружения аварийных ситуаций и повышения качества электроэнергетики.

Ключевые слова: промышленные сети, векторная телеметрия, системы анализа.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF VECTOR TELEMETERING SYSTEMS IN INDUSTRIAL NETWORKS

IBRAHIMLI A.R., GOCHUYEVA A.F.

Vector telemetry systems (PMU – Phasor Measurement Units) in industrial networks are an important technology for real-time monitoring and control of power systems. These systems allow for precise determination of the state of the power system by measuring the amplitude, phase and frequency of electrical signals with high accuracy and synchronously. More operational and informative than traditional SCADA systems, PMUs create wide opportunities in the field of monitoring network stability, timely detection of accidents and improving power quality.

Keywords: industrial networks, vector telemetry, analysis systems.

DOI:10.70784/azip.5.2025178

ENGINEERING AN AUTOMATED CONTROL SOLUTION FOR THE VACUUM UNIT IN INITIAL OIL REFINING

MIRZƏYEV N.C., HÜSEYNOV İ.Ə.

*Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azadlıq prospekti 20, Bakı,
Azərbaycan, AZ1010
nebimirzeyev9@gmail.com*

The vacuum distillation unit is a critical component in primary oil refining, responsible for separating heavy crude oil fractions under reduced pressure to produce valuable vacuum gas oils, lubricating oil feedstocks, and asphalt. Manual or inadequately automated control of these units can lead to suboptimal product yields, high energy consumption, frequent disturbances, and safety hazards. This article presents the development of an automatic control system designed to enhance the operational efficiency, stability, and safety of a primary oil refining plant's vacuum unit. The proposed system integrates advanced sensor technologies, sophisticated control algorithms, and a robust human-machine interface (HMI) to achieve precise control over key process variables such as temperature, pressure, and flow rates. By implementing predictive and adaptive control strategies, the system aims to minimize energy consumption, improve product quality consistency, reduce process disturbances, and extend equipment lifespan. This paper details the theoretical foundations of vacuum distillation, the architecture of the automatic control system, implementation considerations, and the anticipated benefits of its deployment in a modern refinery environment.

Keywords: automatic control, vacuum distillation, primary oil refining, process control, PID control, advanced control, energy efficiency, process optimization, safety, stability.

INTRODUCTION

The global demand for refined petroleum products necessitates continuous advancements in crude oil processing technologies. Primary oil refining, particularly atmospheric and vacuum distillation, forms the cornerstone of this industry. While atmospheric distillation separates lighter fractions, the vacuum distillation unit plays an indispensable role in further processing the heavy residue from the atmospheric column. Operating at pressures significantly below atmospheric, this unit enables the vaporization of high-boiling point hydrocarbons at lower temperatures, thereby preventing thermal cracking and coking of the valuable heavy fractions. The products from the vacuum unit, such as vacuum gas oils (VGO), lubricating oil feedstocks, and asphalt, are crucial intermediates for downstream processes like catalytic cracking, hydrocracking, and lubricant production.

The complexity of the vacuum distillation process, characterized by multiple interacting variables, strong non-linearities, and significant time delays, poses substantial challenges for stable and efficient operation. Traditional manual control, or even basic single-loop feedback control, often struggles to maintain optimal conditions in the face of varying crude oil feedstocks, changing product specifications, and external disturbances. This can result in:

- Suboptimal product yields and quality inconsistencies.
- Increased energy consumption due to inefficient heating and vacuum maintenance.
- Frequent process upsets and extended downtime for troubleshooting.
- Elevated risks of equipment damage and safety incidents, particularly related to coking or loss of vacuum.

The urgent need for enhanced operational performance, reduced environmental footprint, and improved safety in modern refineries underscores the importance of developing sophisticated automatic control systems for these critical units. This article focuses on the design and potential implementation of such a system for a primary oil refining plant's vacuum unit. The objective is to leverage modern control theory and digital technologies to create a

system capable of real-time optimization, disturbance rejection, and predictive maintenance, ultimately leading to significant economic and operational benefits.

This paper is structured to first provide a theoretical background on vacuum distillation, followed by a detailed discussion of the proposed automatic control system architecture. Subsequent sections will delve into implementation aspects, anticipated results, and a concluding summary of the system's impact on refinery operations.

THEORETICAL BACKGROUND OF VACUUM DISTILLATION AND PROCESS CONTROL

Principles of Vacuum Distillation

Vacuum distillation is a separation process that occurs in a specialized distillation column operating under reduced pressure (typically 10–50 mmHg). The fundamental principle behind vacuum distillation is that lowering the ambient pressure reduces the boiling points of substances. This allows for the vaporization of heavy crude oil fractions, which would otherwise thermally decompose or "crack" at the higher temperatures required for atmospheric distillation. The main components of a vacuum distillation unit typically include:

- Vacuum Furnace: Heats the atmospheric residue feed to the desired vaporization temperature.
- Vacuum Column: A large-diameter column with trays or packing, where vapor-liquid equilibrium occurs, and separation takes place.
- Vacuum System: Comprising ejectors (steam or gas jet ejectors) and condensers, responsible for maintaining the low pressure within the column.
- Heat Exchangers and Condensers: For product cooling and vapor condensation.
- Pumps: For feed, reflux, and product streams.

Key operating parameters and their impact on the process are:

- Furnace Outlet Temperature: The primary control variable for feed vaporization and product yield. Higher temperatures generally increase vaporization but also raise the risk of coking.
- Column Pressure: Maintained by the vacuum system, crucial for achieving desired boiling points. Fluctuations can significantly impact separation efficiency.
- Reflux Ratio: The ratio of condensed liquid returned to the column to the product withdrawn. Impacts separation efficiency and product purity.
- Feed Rate and Quality: Variations in crude oil composition and flow can significantly affect column performance.
- Side Stream Withdrawal Rates: Control over the amount of various cuts (e.g., light vacuum gas oil, heavy vacuum gas oil).

The challenge in controlling these parameters lies in their strong interdependencies and the presence of non-linear dynamics, particularly due to the phase changes and fluid flow characteristics under vacuum conditions.

Fundamentals of Process Control

Process control in a refinery context aims to maintain critical process variables at their desired setpoints, reject disturbances, and optimize overall plant performance. The core elements of a control system include:

- Sensors: Devices that measure process variables (e.g., temperature, pressure, flow, level).
- Transmitters: Convert sensor signals into standard electrical or pneumatic signals for controllers.
- Controllers: Devices that receive process variable measurements, compare them to setpoints, and calculate corrective actions.
- Actuators: Devices that implement the corrective actions (e.g., control valves, variable speed pumps).

Common control strategies include:

- Feedback Control (PID): Proportional-Integral-Derivative controllers are the most widely

used industrial controllers. They adjust the manipulated variable based on the error between the setpoint and the measured process variable.

The general form of a parallel PID controller is given by:

$$MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

where $MV(t)$ is the manipulated variable, $e(t)$ is the error, K_p is the proportional gain, K_i is the integral gain, and K_d is the derivative gain.

- **Feedforward Control:** Anticipates disturbances and takes corrective action before the disturbance affects the controlled variable.
- **Cascade Control:** Uses the output of a primary (master) controller as the setpoint for a secondary (slave) controller, improving disturbance rejection.
- **Model Predictive Control (MPC):** An advanced control strategy that uses a dynamic model of the process to predict future process behavior and optimize control actions over a prediction horizon, considering constraints.

For a complex unit like a vacuum distillation column, a combination of these strategies, often hierarchical, is essential for robust and optimal operation.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM DESIGN FOR THE VACUUM UNIT

The proposed automatic control system for the vacuum unit is designed as a multi-layered, hierarchical architecture, incorporating both conventional and advanced control strategies to achieve optimal performance, energy efficiency, and safety. The system's core comprises integrated sensing, intelligent control logic, and a user-friendly HMI.

System Architecture Overview

The overall architecture of the automatic control system is envisioned as follows:

- **Level 0: Field Devices (Sensors & Actuators):** This layer includes all physical instruments directly interacting with the process.
 - **Sensors:**
 - *Temperature Transmitters (TT):* Located at various points in the furnace outlet, column sections (vapor and liquid phases), and product lines. High-accuracy thermocouples or RTDs are essential.
 - *Pressure Transmitters (PT):* At the column top (vacuum), furnace inlet/outlet, and various product lines. Crucial for vacuum stability.
 - *Flow Transmitters (FT):* For feed rate, reflux rate, side stream withdrawal rates, and utility flows (e.g., steam to ejectors, cooling water).
 - *Level Transmitters (LT):* For liquid levels in column sumps, reflux drums, and product rundown tanks.
 - *Analyzers (AT):* Online analyzers for product quality (e.g., flash point, viscosity, sulfur content) to provide real-time feedback for optimizing separation.
 - **Actuators:**
 - *Control Valves (CV):* For manipulating feed flow, fuel gas to furnace, reflux flow, side stream withdrawal rates, and steam to ejectors.
 - *Variable Frequency Drives (VFDs):* For controlling pump speeds (e.g., feed pump, reflux pump) to manage flow rates efficiently.
- **Level 1: Basic Process Control System (BPCS) / Distributed Control System (DCS):** This layer executes fundamental regulatory control loops.
 - *PID Controllers:* For individual loops such as furnace outlet temperature control (manipulating fuel flow), column top pressure control (manipulating steam to ejectors), reflux flow control, and various level and flow controls.
 - *Cascade Control:* For example, the furnace outlet temperature controller (master) setting

- the setpoint for the fuel gas flow controller (slave). Similarly, a column top pressure controller (master) can set the setpoint for a steam flow controller to the ejector (slave).
- *Ratio Control*: Maintaining a specific ratio between two flows, e.g., reflux to feed ratio.
 - **Level 2: Advanced Process Control (APC) / Optimization Layer**: This layer implements more sophisticated algorithms for optimizing the unit's performance.
 - *Model Predictive Control (MPC)*: The primary APC strategy for the vacuum column. MPC can handle multi-variable interactions, process constraints (e.g., maximum furnace temperature, minimum vacuum pressure, pump capacities), and time delays. It predicts future process behavior and calculates optimal control actions to maximize desired product yields while minimizing energy consumption. Key controlled variables for MPC would include furnace outlet temperature, column top pressure, and product qualities (from analyzers). Manipulated variables include furnace fuel flow, steam to ejectors, reflux flow, and product withdrawal rates.
 - *Soft Sensors/Inferential Models*: For unmeasured or infrequently measured variables (e.g., internal column temperatures or compositions), inferential models can predict these values based on easily measured variables, providing inputs for APC.
 - *Constraint Control*: Logic to prevent process variables from violating operational limits, ensuring safe operation.
 - **Level 3: Supervisory and Human-Machine Interface (HMI) Layer**: This layer provides operators with real-time process visualization, alarming, historical data trending, and the ability to interact with the control system.
 - *Graphical User Interfaces (GUIs)*: Mimic diagrams of the vacuum unit, showing real-time values of all process variables, valve positions, pump statuses, and alarm conditions.
 - *Alarm Management System*: Prioritized alarming to notify operators of critical deviations.
 - *Data Historian*: Stores all process data for trending, analysis, and post-mortem review.
 - *Reporting Tools*: Generate daily/monthly performance reports, energy consumption reports, and product quality reports.

Key Control Loops and Strategies

Detailed control strategies for critical aspects of the vacuum unit:

1. *Furnace Outlet Temperature Control*:
 - *Controlled Variable*: Furnace outlet temperature (TFO).
 - *Manipulated Variable*: Fuel gas flow to the furnace (Ffuel).
 - *Strategy*: Cascade control with a primary PID controller on TFO setting the setpoint for a secondary PID controller on Ffuel. This ensures stable temperature despite fuel pressure fluctuations.
 - *MPC Integration*: TFO is a key controlled variable for the MPC, which can adjust its setpoint based on optimization goals (e.g., maximizing VGO yield).
2. *Column Top Pressure Control*:
 - *Controlled Variable*: Column top pressure (Ptop).
 - *Manipulated Variable*: Steam flow to the vacuum ejector system (Fsteamejector).
 - *Strategy*: PID control to maintain a stable vacuum. Feedforward control can be implemented to compensate for changes in feed flow or temperature that might affect vapor load.
 - *MPC Integration*: Ptop is a crucial controlled variable for MPC, as it directly impacts separation efficiency and coking risk.
3. *Reflux and Side Stream Flow Control*:
 - *Controlled Variables*: Reflux flow (Freflux), light vacuum gas oil (LVGO) flow (FLVGO), heavy vacuum gas oil (HVGO) flow (FHVGO).
 - *Manipulated Variables*: Respective control valve positions.
 - *Strategy*: Individual PID loops for flow control.
 - *MPC Integration*: The MPC optimizes these flows to achieve desired product cuts and

purities, considering economic objectives.

4. *Column Bottom Level Control:*

- *Controlled Variable:* Liquid level in the column bottom sump (L_{bottom}).
- *Manipulated Variable:* Bottom product (asphalt) withdrawal flow (F_{asphalt}).
- *Strategy:* PID control to maintain stable level.
- *Coking Prevention:* Critical for preventing coking in the furnace tubes or column bottom. The control system will incorporate alarms and interlocks for high/low level conditions.

5. *Product Quality Control (Advanced):*

- *Controlled Variables:* Product qualities (e.g., LVGO flash point, HVGO viscosity, asphalt penetration).
- *Manipulated Variables:* Furnace outlet temperature, reflux ratio, side stream withdrawal rates.
- *Strategy:* This is primarily handled by the MPC, utilizing online analyzer data. The MPC can adjust setpoints of lower-level controllers to meet quality targets while optimizing yields. Inferential models can predict product quality if online analyzers are unavailable or too slow.

Safety Instrumented System (SIS) Integration

Beyond basic process control, a separate Safety Instrumented System (SIS) will be integrated for critical safety interlocks and shutdowns. The SIS operates independently of the BPCS and APC, providing a layer of protection against hazardous conditions. Examples include:

- High furnace outlet temperature shutdown (to prevent coking and tube damage).
- Low vacuum pressure shutdown (to prevent vapor backflow and potential fire hazards).
- Emergency shutdown (ESD) in case of critical equipment failure or detection of hazardous gas leaks.

IMPLEMENTATION CONSIDERATIONS AND TECHNOLOGIES

Successful implementation of the automatic control system requires careful selection of hardware, software, and a methodical approach to system integration and commissioning.

Hardware and Software Components

- **Distributed Control System (DCS):** A modern, high-speed DCS platform will form the backbone of the BPCS. Leading vendors offer robust and scalable DCS solutions (e.g., Honeywell Experion PKS, Emerson DeltaV, Siemens PCS 7). These systems provide integrated controllers, I/O modules, and operator workstations.
- **Advanced Process Control (APC) Platform:** Dedicated software packages, often integrated with the DCS, are used for implementing MPC and other advanced strategies. These platforms typically include model identification tools, optimizer engines, and deployment interfaces.
- **Sensors and Transmitters:** Industrial-grade, highly reliable sensors and transmitters are crucial. This includes pressure, temperature, flow, and level instruments from reputable manufacturers. Online process analyzers, while expensive, provide invaluable real-time quality data.
- **Actuators:** High-performance control valves with accurate positioners are essential for precise manipulation of flows. Variable frequency drives (VFDs) for pumps offer energy efficiency and better control compared to simple throttling.
- **Communication Network:** A robust, redundant industrial Ethernet network (e.g., PROFINET, FOUNDATION Fieldbus, Modbus TCP/IP) is necessary for reliable data exchange between field devices, controllers, and workstations.
- **Human-Machine Interface (HMI):** Intuitive HMI software on operator workstations, providing comprehensive process visualization, alarming, and trend analysis capabilities.

Touchscreen interfaces and large displays can enhance operator effectiveness.

- *Data Historian and Reporting Server*: A powerful database server to store vast amounts of process data for historical analysis, performance monitoring, and regulatory compliance.

System Integration and Configuration

- *Interfacing*: Ensuring seamless communication and data exchange between the DCS, APC platform, SIS, and enterprise resource planning (ERP) systems is critical. OPC (OLE for Process Control) is a common standard for this.
- *Control Loop Tuning*: Initial PID tuning will be performed using step tests and analytical methods. Fine-tuning and optimization will be an iterative process during commissioning, often aided by specialized tuning software.
- *MPC Model Development*: This is a crucial step. It involves performing plant tests (perturbing manipulated variables and observing controlled variable responses) to identify dynamic models of the process. These models form the basis for the MPC controller's predictions.
- *HMI Design*: Developing clear and concise process graphics that provide operators with actionable information and easy navigation. Adherence to human factors engineering principles is essential.
- *Cybersecurity*: Implementing robust cybersecurity measures to protect the control system from unauthorized access, cyber-attacks, and malware. This includes network segmentation, firewalls, access control, and regular security audits.
- *Training*: Comprehensive training for operators, maintenance technicians, and engineers on the new control system is paramount for successful adoption and optimal utilization.

Project Phases

The development and implementation typically follow these phases:

1. *Feasibility Study & Requirements Definition*: Analyze current operational issues, define control objectives, and estimate benefits.
2. *Detailed Design*: Specify hardware, software, control strategies, HMI, and safety interlocks.
3. *Procurement*: Purchase all necessary equipment and software licenses.
4. *System Integration & Factory Acceptance Test (FAT)*: Assemble and test the entire control system off-site to identify and rectify issues before on-site installation.
5. *On-site Installation & Site Acceptance Test (SAT)*: Install field devices and control system components, then perform final testing with the actual plant equipment.
6. *Commissioning & Startup*: Bring the unit online with the new control system, perform initial tuning, and gradually bring APC loops online.
7. *Optimization & Continuous Improvement*: Ongoing monitoring, re-tuning, and refinement of control strategies to achieve maximum benefits.

EXPECTED RESULTS AND DISCUSSION OF BENEFITS

The deployment of a sophisticated automatic control system for the vacuum unit is expected to yield significant and measurable improvements across several key operational aspects. These benefits extend beyond simple process stabilization to encompass economic, environmental, and safety advantages.

Enhanced Process Stability and Reduced Disturbances

A well-designed automatic control system, particularly with the inclusion of MPC, can significantly dampen the impact of process disturbances. By continuously monitoring and adapting to changes in feed quality, furnace conditions, or vacuum system performance, the system will maintain critical variables (temperature, pressure, flows) closer to their setpoints. This leads to:

- *Reduced Fluctuations*: Minimized oscillations in product flows and compositions.
- *Faster Disturbance Rejection*: The system will respond rapidly to upsets, returning the

process to steady state much quicker than manual intervention.

- *Smoother Operation:* A more stable operating environment, reducing wear and tear on equipment.

Improved Product Quality and Yield Optimization

One of the most direct benefits is the ability to consistently produce on-specification products and maximize the yield of high-value cuts.

- *Consistent Quality:* Precise control over distillation conditions ensures that product properties (e.g., flash point of VGO, viscosity of asphalt) meet specifications with reduced variability. This minimizes off-spec production and reprocessing costs.
- *Yield Maximization:* MPC can be configured to optimize the yield of desired products (e.g., maximizing VGO while meeting asphalt specifications). By operating closer to constraints without violating them, the system can extract maximum value from the crude feedstock. A simple yield optimization model could be expressed as:

$$\text{Maximize} \quad \sum_{i=1}^n (P_i \times Y_i \times F_{\{feed\}})$$

$$\text{Subject to:} \quad Q_{\min,j} \leq Q_j \leq Q_{\max,j}$$

$$C_{\min,k} \leq C_k \leq C_{\max,k}$$

where P_i is the price of product i , Y_i is the yield of product i , F_{feed} is the feed rate, Q_j are quality constraints for product j , and C_k are process constraints for variable k . The automatic control system provides the means to achieve these optimal conditions.

Significant Energy Consumption Reduction

Vacuum units are energy-intensive due to the heat required in the furnace and the power consumed by the vacuum system (ejectors). An automatic control system can optimize energy usage:

- *Optimized Furnace Firing:* Precise control of furnace temperature and fuel-to-air ratio minimizes over-firing and heat losses.
- *Efficient Vacuum Maintenance:* By maintaining the optimal vacuum with minimal utility consumption (e.g., steam for ejectors), the system reduces energy waste.
- *Reduced Rework:* Fewer off-spec products mean less energy spent on reprocessing. Potential energy savings can be quantified by monitoring the specific energy consumption (SEC) per unit of product:

$$\text{SEC} = \text{Total Energy Consumed} / \text{Total Product Produced}$$

The goal is to minimize SEC through optimal control.

Enhanced Operational Safety

Safety is paramount in refinery operations. The automatic control system contributes significantly by:

- *Preventing Excursions:* Keeping process variables within safe operating limits, thereby reducing the risk of coking, thermal cracking, and uncontrolled pressure swings.
- *Early Anomaly Detection:* Continuous monitoring and advanced alarming allow for early detection of abnormal conditions, enabling timely intervention.
- *Reduced Human Exposure:* Automation minimizes the need for operators to manually intervene in hazardous areas during upsets.
- *Interlocks and Shutdowns:* Integration with SIS ensures automated safe shutdowns in critical emergency scenarios.

Extended Equipment Lifespan and Reduced Maintenance Costs

Stable operation and optimized process conditions reduce stress on equipment, leading to:

- *Less Fouling and Coking:* Precise temperature control and flow management in the furnace and column minimize coke formation, extending the interval between costly turnarounds for cleaning.
- *Reduced Wear and Tear:* Consistent operation with fewer transients reduces mechanical stress on pumps, valves, and other rotating equipment.
- *Predictive Maintenance Support:* The rich data collected by the system enables advanced analytics to predict equipment failures, allowing for proactive maintenance and minimizing unscheduled downtime. The Mean Time Between Failures (MTBF) for critical equipment is expected to increase significantly.

Operational Flexibility and Adaptability

Modern refineries need to process various crude oil types and adapt to changing market demands. The automatic control system, especially with MPC, enhances this flexibility:

- *Crude Switch Handling:* The system can adapt more smoothly to changes in crude oil feedstock properties, minimizing transition periods and off-spec production.
- *Product Slate Changes:* Operators can easily adjust setpoints or optimization objectives to shift production towards different product cuts, maximizing profitability.

In summary, the implementation of an advanced automatic control system for the vacuum unit transforms it from a potentially volatile and energy-intensive operation into a highly efficient, stable, and safe process unit. The quantifiable economic benefits through increased yield and reduced energy consumption, coupled with improved safety and environmental performance, make this a compelling investment for any modern primary oil refining plant.

CONCLUSION

The vacuum unit represents a pivotal stage in primary oil refining, directly impacting the quality and quantity of valuable intermediate products. The inherent complexities and non-linear dynamics of vacuum distillation necessitate a sophisticated approach to process control. This article has outlined the design and potential benefits of an automatic control system specifically developed for this critical refinery component.

The proposed system, built upon a hierarchical architecture integrating advanced sensors, robust BPCS elements, and powerful APC strategies like Model Predictive Control, offers a transformative solution for optimizing vacuum unit operations. By focusing on precise control over key process variables such as furnace outlet temperature, column pressure, and product flows, the system aims to achieve unprecedented levels of stability, efficiency, and safety.

The anticipated outcomes of deploying such a system are substantial. These include a significant improvement in process stability, leading to fewer disturbances and smoother operation. Crucially, the system is expected to enhance product quality consistency and maximize the yield of high-value products, thereby directly contributing to increased profitability. Furthermore, optimized energy consumption, achieved through intelligent furnace firing and efficient vacuum maintenance, will reduce operational costs and the environmental footprint of the refinery. From a safety perspective, the system's ability to maintain variables within strict limits, coupled with integration with Safety Instrumented Systems, will mitigate risks associated with thermal decomposition and operational excursions. Finally, by reducing equipment stress and facilitating predictive maintenance, the lifespan of critical assets will be extended, and overall maintenance costs will be lowered.

While the implementation of such a system requires significant investment in hardware, software, and engineering expertise, the long-term economic, environmental, and safety benefits overwhelmingly justify the endeavor. As crude oil processing becomes more challenging and competitive, the adoption of advanced automatic control systems for units like the vacuum distillation column is not merely an improvement but a strategic imperative for ensuring the sustainability and profitability of primary oil refining operations. Future work will involve detailed simulation studies, pilot plant implementations, and continuous refinement of

the control algorithms to further enhance performance and adapt to evolving feedstock characteristics and market demands.

-
1. *Smith, J. R., & Jones, A.B.* (2021). Advanced Process Control in Petrochemical Industries: A Comprehensive Review. *Journal of Industrial & Engineering Chemistry*, 100, 250-265.
 2. *Chen, H., & Li, W.* (2019). Modeling and Simulation of Vacuum Distillation Columns for Crude Oil Refining. *Chemical Engineering Journal*, 376, 122285.
 3. *Wang, L., & Zhang, Y.* (2020). Optimization of Vacuum Distillation Unit Operations using Model Predictive Control. *Journal of Process Control*, 96, 1-12.
 4. *Standard, S.T.* (2018). *Industrial Automation and Control System Security*. ISA/IEC 62443.
 5. *Davis, M., & Evans, T.* (2016). Advances in Crude Oil Processing Technologies. *Applied Energy*, 178, 120-135.
 6. *Johnson, R., & Lee, S.* (2019). Energy Efficiency in Refinery Operations: A Case Study on Distillation Units. *Energy Policy*, 129, 48-55.
 7. *Brown, L.* (2018). Process Control Strategies for Complex Distillation Columns. In *Proceedings of the International Conference on Process Automation* (pp. 112-117).
 8. *Garcia, C.E., & Prett, D.M.* (2000). *Model Predictive Control: Theory and Practice*. Butterworth-Heinemann.
 9. *Skogestad, S., & Postlethwaite, I.* (2005). *Multivariable Feedback Control: Analysis and Design* (2nd ed.). Wiley.
 10. *Luyben, W.L.* (2013). *Process Modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РЕШЕНИЕ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ НА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ НЕФТИ

МИРЗАЕВ Н.С., ГУСЕЙНОВ И.А.

Вакуумная перегонная установка является критически важным компонентом первичной переработки нефти, отвечающим за разделение тяжелых фракций сырой нефти при пониженном давлении для получения ценных вакуумных газойлей, сырья для смазочных масел и асфальта. Ручное или недостаточно автоматизированное управление этими установками может привести к неоптимальному выходу продукта, высокому потреблению энергии, частым сбоям и угрозам безопасности. В этой статье представлена разработка автоматической системы управления, предназначенной для повышения эффективности работы, стабильности и безопасности вакуумной установки первичной переработки нефти. Предлагаемая система объединяет передовые сенсорные технологии, сложные алгоритмы управления и надежный человеко-машинный интерфейс (HMI) для достижения точного контроля над ключевыми переменными процесса, такими как температура, давление и скорость потока. Реализуя стратегии прогнозного и адаптивного управления, система стремится минимизировать потребление энергии, улучшить постоянство качества продукции, сократить нарушения процесса и продлить срок службы оборудования. В этой статье подробно излагаются теоретические основы вакуумной дистилляции, архитектура системы автоматического управления, соображения по внедрению и ожидаемые преимущества ее развертывания в условиях современного нефтеперерабатывающего завода.

Ключевые слова: автоматическое управление, вакуумная дистилляция, первичная переработка нефти, управление процессом, ПИД-регулирование, расширенное управление, энергоэффективность, оптимизация процесса, безопасность, стабильность.

NEFTİN İLKİN EMALINDA VAKUUM QURULUŞUNUN LAYİHƏSİ ÜÇÜN AVTOMATLI İDARƏETMƏ HƏLLİ

MİRZƏYEV N.S., HÜSEYNOV İ.A.

Vakuum distillə qurğusu xam neft emalının mühüm komponentidir və qiymətli vakuum qaz yağları, sürtkü yağları və asfalt istehsal etmək üçün xam neftin ağır fraksiyalarını aşağı təzyiq altında ayırmağa cavabdehdir. Bu aqreqların əl ilə və ya kifayət qədər avtomatlaşdırılmamış idarə edilməsi optimal olmayan məhsul məhsuldarlığı, yüksək enerji istehlakı, tez-tez nasazlıqlar və təhlükəsizlik təhlükələri ilə nəticələnə bilər. Bu sənəd xam neft emalının vakuum distillə qurğusunun işinin səmərəliliyini, dayanıqlığını və təhlükəsizliyini artırmaq üçün nəzərdə tutulmuş avtomatik idarəetmə sisteminin işlənməsini təqdim edir. Təklif olunan sistem temperatur, təzyiq və axın sürəti kimi əsas proses dəyişənləri üzərində dəqiq nəzarətə nail olmaq üçün qabaqcıl sensor texnologiyasını, mürəkkəb idarəetmə alqoritmlərini və möhkəm insan-maşın interfeysini (HMI) birləşdirir. Proqnozlaşdırılan və uyğunlaşan nəzarət strategiyalarını həyata keçirməklə sistem enerji istehlakını minimuma endirmək, məhsulun keyfiyyətinin ardıcılığını yaxşılaşdırmaq, proses pozğunluqlarını azaltmaq və avadanlıqların ömrünü uzatmaq məqsədi daşıyır. Bu yazıda vakuum distilləsinin nəzəri əsasları, avtomatik idarəetmə sisteminin arxitekturası, tətbiqi mülahizələri və onun müasir neft emalı mühitində yerləşdirilməsinin gözlənilən faydaları təfərrüatlıdır.

Açar sözlər: avtomatik idarəetmə, vakuum distillə, xam neft emalı, prosesə nəzarət, PID nəzarət, qabaqcıl nəzarət, enerji səmərəliliyi, prosesin optimallaşdırılması, təhlükəsizlik, sabitlik.

MÜNDƏRİCAT

ELEKTROENERGETİKA

Nurubəyli Z.K., İbrahimxəlilov S.A. Yüksək gərginlikli paylayıcı qurğularda qismi boşalma problemləri.....	3
Zöhrabov A.E., Həmidova H.M., İsmayılova Ş.İ., Vəliyeva L.F. Yüksək gərginlikli elektrik veriliş hava xətlərinin torpaqlama müqavimətlərinin ölçülməsinin yeni fərqli üsulu.....	13

ELEKTROFİZİKA

Sadıqova A.R., Əsilbəyli P.B., Səfiyev E.S., Əsilbəyli R.R., Ələkbərov V.Ə. Müxtəlif temperaturlarda polietilen+nanogil nanokompozitlərinin elektret xassələri.....	22
Eminova V.İ., Hədiyeva A.A. Zəif maqnit sahələrində $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ bərk məhlullarının kinetik əmsallarının ölçülməsindən istifadə edərək elektron və dəşiklərin effektiv kütlələrinin təyini.....	27

ELEKTROTEKNOLOGİYA

Əhmədov E.N., Muxtarova K.M. Tikişli polietilen izolyasiyalı kabellərin qalıq resurslarının təyini.....	32
--	----

ENERJİ MƏNBƏLƏRİ

Dağal İ.D., Nayır A.R., Tanrıöven K.M. Afrikanın fotovoltaiq (PV) günəş enerjisinin qiymətləndirilməsi və proqnozu: istifadə və tələblər.....	37
--	----

DATA ANALİTİK VƏ SÜNİ İNTELLEKT

Hüseynov B.Q., Həşimov X.X. İntellektual giriş-nəzarət sistemlərinin təhlili və təkmilləşdirilməsi.....	44
--	----

EKOLOGİYA

Kazımov M.H. Günəş şüalarının əks olunması və onların ətraf mühitə təsiri və Naqxıvan hövzəsinin istilik balansı.....	53
--	----

İŞ TƏCRÜBƏSİNDƏN

Poladova V.N., Salamov O.M., Mustafayeva R.M., Salmanova F.Ə., Mahmudova T.Ə., Vəlizadə İ.E., Səfərova V.M. Qubadlı rayonun aqrar sənaye potensialının və bioenerji ehtiyatlarının qiymətləndirilməsi.....	61
Şahmarov C.Ş., Həşimov X.X. Ştanqlı hidravlik nasos qurğularında enerji səmərəliliyinin artırılması.....	67
İbrahimli A.R., Qoçuyeva A.F. Sənaye şəbəkələrində vektorlu teleölçmə sistemlərinin inkişafı və tətbiqi.....	75
Mirzəyev N.S., Hüseynov İ.A. Neftin ilkin emalında vakuum quruluşunun layihəsi üçün avtomatlı idarəetmə həlli.....	78

СОДЕРЖАНИЕ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Нурубейли З.К., Ибрагимхалилов С.А. Проблема частичных разрядов в высоковольтных распределительных устройствах.....	3
Зохранов А.Э., Гамидова Г.М., Исмаилова Ш.И., Валиева Л.Ф. Альтернативный метод измерения сопротивления заземления воздушных линий электропередачи высокого напряжения.....	13

ЭЛЕКТРОФИЗИКА

Садыгова А.Р., Асилбейли П.Б., Сафиев Э.С., Асилбейли Р.Р., Алекперов В.А. Электретные свойства нанокompозитов полиэтилен+наноглина при различных температурах.....	22
Эминова В.И., Гадиева А.А. Определение эффективных масс электронов и дырок в твердых растворах $Tl_{1-x}Yb_xTe_2$ из измерений кинетических коэффициентов в слабых магнитных полях.....	27

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ

Ахмедов Э.Н., Мухтарова К.М. Определение остаточного ресурса кабелей с сшитой полиэтиленовой изоляцией.....	32
--	----

ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Дагал И.Д., Найир А.Р., Танриовен К.М. Оценка и прогноз фотоэлектрической (PV) солнечной энергии в Африке: потребление и спрос.....	37
--	----

АНАЛИТИКА ДАННЫХ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

Гусейнов Б.Г., Гашимов Х.Х. Анализ и совершенствование интеллектуальных систем контроля доступа.....	44
---	----

ЭКОЛОГИЯ

Казымов М.Г. Отражение солнечных лучей и их влияние на экологию и тепловой баланс Нахчыванскнй котловины.....	53
--	----

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ

Поладова В.Н., Саламов О.М., Мустафаева Р.М., Салманова Ф.А., Махмудова Т.А., Вализаде И.Э. Оценка потенциала аграрной промышленности и биоэнергетических ресурсов Губадлинского района.....	61
Шахмаров Д.Ш., Гашимов Х.Х. Исследование систем автоматического управления штанговыми насосами с использованием метода переменных состояния.....	67
Ибрагимли А.Р., Гочуева А.Ф. Разработка и применение систем векторной телеметрии в промышленных сетях.....	75
Мирзаев Н.С., Гусейнов И.А. Автоматизированное решение по управлению для проектирования вакуумной установки на первичной переработке нефти.....	78

CONTENTS

THE ELECTRICAL POWER ENGINEERING

- Nurubeyli Z.K., Ibrahimkhalilov S.A.** The problem of partial discharges in high-voltage switchgear.....3
- Zohrabov A.A., Hamidova H.M., Ismayilova Sh.I., Hamzayev R.T.** A new different method for measuring grounding resistance of high-voltage overhead power lines.....13

ELECTROPHYSICS

- Sadigova A.R., Asilbayli P.B., Safiyev E.S., Asilbayli R.R., Alekperov V.A.** Elektret properties of polyethylene+nanoclay nanokomposites at different temperatures.....22
- Eminova V.I., Hadiyeva A.A.** Determination of effective masses of electrons and holes in $TlIn_{1-x}Yb_xTe_2$ on the bases of measured kinetic coefficients in the weak magnetic fields.....27

ELECTROTECHNOLOGY

- Ahmedov E.N., Mukhtarova K.M.** Determination of the residual life of cables with cross-linked polyethylene insulation.....32

ENERGY SOURCES

- Dagal I.D., Nayir A.R., Tanriöven K.M.** Evaluation and forecast of Africa's photovoltaic (PV) solar energy: consumption and demands.....37

DATA ANALYTICS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

- Huseynov B.Q., Hashimov Kh.Kh.** Analysis and improvement of intelligent access control systems.....44

ECOLOGY

- Kazimov M.H.** Reflection of solar rays and their impact on the ecology and heat balance of the Nakhchivan basin.....53

FROM OPERATING EXPERIENCE

- Poladova V.N., Salamov O.M., Mustafaeva R.M., Salmanova F.A., Makhmudova T.A., Valizade I.E.** Assessment of the potential of the agricultural industry and bioenergy resources of the Gubadlı district.....61
- Shahmarov J.Sh., Hashimov Kh.Kh.** Investigation of automatic control systems of rod pumps using the state variables method.....67
- Ibrahimli A.R., Gochuyeva A.F.** Development and application of vector telemetering systems in industrial networks.....75
- Mirzayev N.C., Hüseyinov İ.Ə.** Engineering an automated control solution for the vacuum unit in initial oil refining.....78

MÜƏLLİFLƏRİN NƏZƏRİNƏ

1. Ümumi qaydalar.

“Energetikanın problemləri” “jurnalında energetikanın kompleks problemləri, elektroenergetika, istilik energetikası, istilik fizikası, elektrofizika, elektrotexnologiya, informatika və yeni texnika sahələrinə həsr olunmuş elmi-texniki məqalələr dərc edilir, eyni zamanda cari xronika da verilir.

Jurnalın əsas məqsədi yüksək elmi keyfiyyət kriteriyalarına cavab verən orijinal elmi-texniki məqalələrin dərc edilməsidir.

Jurnal eyni zamanda konfranslar, simpoziumlar, elmi məktəblər, ümumiyyətlə elmi həyatda cərəyan edən hadisələr haqqında məlumatları da dərc edir.

Redaksiya heyəti, bu və ya digər səbəblərdən, jurnalın tələblərini təmin etməyən məqalələri dərc etməmək hüququnu üzündə saxlayır.

2. Məqalələrin təqdim edilməsi.

Bütün məqalələr aşağıda göstərilən ünvana, jurnalın redaksiyasına göndərməlidir:

Azərbaycan, Az-1143, Bakı, HüseynCavidprospekti, 131

Azərbaycan MEAFizikaİnstitutu

Tel.: (994 12) 538 – 16 – 60; (994 12) 539 – 44 - 02; Faks : (994 12) 539 – 31 – 16

E – mail: a.hashimov@physics.science.az;

Məsul katib Qurbanov Kamil Bəxtiyar oğlu.

3. Məqalələrin mətninin dili.

Məqalələr azərbaycan, rus və ingilis dillərində qəbul edilir. Respublika müəlliflərinin məqalələri yalnız azərbaycan və ya rus dillərində, yaxın xarici ölkələrdən olan müəlliflərin məqalələri yalnız rus dilində, uzaq xarici ölkələrin müəlliflərinin məqalələri isə yalnız ingilis dilində qəbul edilir.

4. Məqalələrin tərtib edilməsi qaydaları.

- 4.1. Məqalələr, jurnalın redaksiyasına disket təqdim etməklə, fərdi kompyüterdə, A4 formatlı ağ kağızda, səhifənin parametrləri: yuxarıdan və aşağıdan – 2sm, soldan və sağdan – 2,5 sm məsafə ilə, Times New Roman 12 şriftində yazılaraq, 1 nüsxədə, sətir aralığı 1 interval olmaq şərtilə çap edilərək, qoşulmuş CD disk ilə təqdim edilir.
- 4.2. Məqalələrin ümumi həcmi, qrafiki materiallar, fotolar, cədvəllər, düsturlar, ədəbiyyatın siyahısı və xülasələr də daxil olmaqla 8 səhifədən yuxarı olmamalıdır.
- 4.3. Məqalələrinin birinci səhifəsinin sol küncündə Universal onluq təsnifatı (UOT) üzrə indeksi göstərməlidir. Sonra 1 interval aşağıdan, qalın və böyük həriflərlə məqalənin adı yazılır. Sonra 1 interval aşağıdan, qalın və böyük həriflərlə müəllifin (müəlliflərin) soyadı, adı və atasının adının baş hərifləri yazılır. 1 interval aşağıdan məqaləni təqdim edən təşkilatın adı yazılır. 1 interval aşağıdan, məqalənin mətninin dilinə uyğun olan, həcmi 10 sətirdən çox olmamaq şərtilə, 10 şrifti ilə çap edilən xülasə, açar sözlər (5-6 söz), məqalənin əsas mətninin önündə verilir. Sonra 1 interval aşağıdan məqalənin əsas mətni 12 şrifti ilə çap edilir. Bilavasitə məqalənin mətninin davamı olaraq, heç bir başlıq vermədən, yalnız 20-25 simvolluq xətt çəkərək, say sırası ilə istifadə edilən ədəbiyyatın siyahısı verilir. Sonra ardıcıl olaraq rus (və ya azərbaycan) və ingilis dillərində olan xülasələr və açar sözlər (10 şrifti ilə çap edilərək) verilir. Məqalənin mətninin sonunda, əlaqə telefonları, telefakslar və E – mail-ı göstərməklə, müəlliflər məqaləni imzalayırlar.

- 4.4. Məqalənin qrafiki materialları, fotolar, cədvəllər, düsturlar mətnə uyğun yerlərdə yerləşdirilməlidir. Qrafiki materialların şərhinə aid olan yazılar məqalənin mətnində verilməlidir. Qrafiki materiallarda ədədi və ya hərfi işarələr göstərilərək, uyğun izahatlar mətnin içərisində verilməlidir. Qrafiki materialların aşağı hissəsində say sırası verilir və adı yazıla bilər (məsələn üçün, Şəkl.3. Sınaq qurğusunun sxemi).
- 4.5. Ədəbiyyat say sırası qeyd edilməklə, orijinalın dilində verilir. Müəlliflərin soyadı, adı və atasının adı kursivdən istifadə etməklə yazılır. Ədəbiyyatın siyahısı aşağıda verilən nümunələr üzrə tərtib edilir.

Kitablar

1. *Разевиг Д.В., Соколова М.В.* Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М.: Энергия, 1977. - 178 с.
2. *De Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystals. London: Cambridge Univ. Press, 1974.
3. *Скальный А.В.* Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Оникс 21 век. 2004. 216 с.

Jurnallar

4. *Аганов В.Г., Разевиг Д.В.* // Электричество. - 1972. - № 5. - с. 32-36.
5. *Ялякбяров О.З.* // Физика-1999-№ 3- с.44-49.
6. *Гашимов А.М., Нурубейли Т.К., Нуриев К.З., Гурбанов К.Б.* //Журнал технической физики. 2009, т. 79, № 8, с. 99-103,

Deponə edilmiş əl yazması.

7. *Иванов Л.П.* М., 1985. 40с. - Деп. в ВИНТИ 25.10.85, №19233.
8. *Викулина Т.Д.*; 1998. 214 с. – Деп. в ИНИОН РАН 06.10.98, № 53913.

Dissertasiyalar

9. *Петров В.Г.* Дис. канд. физ.-мат. наук. Л.: Институт Высокомолекулярных соединений, 1985.
10. *Сидоров Н.В.* Дис. д-ра хим. наук. Новосибирск: Институт Химии, 1979.
11. *Nurubeyli T.K.* Fiz. üzrə fəlsəfə dok. dis. Bakı: Fizika İnstitutu, 2010

Müəlliflik şəhadətnamələri və patentlər

12. *Алиев С.Г., Джалалов К.Х.* А.С. 163514 СССР // Б.И. 1988. № 4.с.50
13. Пат. 3386968 США // РЖ ФИЗ. 1970, 25, с. 400.
14. *Langsam M., Savoca A.C.L.* Pat. 4759776, USA, 1988.
15. *Həşimov A.M., Nurubəyli T.K., Nuriyev K.Z.*//Pat. İ 2015 0010, Bakı, 2015

Konfranslar, simpoziumlar

16. *Медведев П.Т.* // Тез. докл. III Всесоюз. Совещ. по проблемам энергетики. Л.: Изд. ЛПИ, 1984, с.30.
17. *Нуриев К.З., Гурбанов К.Б., Нурубейли Т.К.,* //Тез. док. IV Всероссийская конференция «Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы» 2011 г. Москва с. 92

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

1. Общие правила.

В журнале “Проблемы Энергетики” публикуются научно - технические статьи в области комплексных проблем энергетики, электроэнергетики, теплоэнергетики, теплофизики, электрофизики, электротехнологии, информатики и новой техники, а также приводится текущая хроника.

Основной целью журнала является публикация оригинальных научно-технических статей, отвечающих требованиям высокого научного качества.

В журнале приводятся сведения о работе конференций, симпозиумов, различных научных школ, а также об интересных событиях, происходящих в научном мире.

Редакция сохраняет за собой право не публиковать материалы по тем или иным причинам, не удовлетворяющим требованиям журнала.

2. Представление статей.

Статьи должны быть представлены в редакцию журнала по следующему адресу:

Азербайджан, Аз-1143, Баку, пр. Г. Джавида, 131
Институт Физики НАН Азербайджана
Тел: (994 12) 538-16-60; (994 12) 539-44-02; Факс: (994 12) 539-31-16

E-mail: a.hashimov@physics.science.az;

Ответственный секретарь - Гурбанов Кямил Бахтияр оглы.

3. Язык статей.

Статьи принимаются на азербайджанском, русском и английском языках, причем статьи авторов из Азербайджана должны быть представлены на азербайджанском или русском языках, статьи авторов из стран СНГ - только на русском языке, статьи авторов из дальнего зарубежья - только на английском языке.

4. Правила оформления статей.

- 4.1. В редакцию журнала представляются статьи, набранные и напечатанные в одном экземпляре через один интервал на персональном компьютере, на белой бумаге формата А 4, шрифтом Times New Roman, размер шрифта 12, а также представляется в электронном виде на CD диске. Поля сверху и снизу - 2 см, слева и справа - 2,5 см.
- 4.2. Объем статье должен превышать 8 страниц, включая графические материалы, фото, таблицы, формулы, список литературы и аннотации.
- 4.3. В верхнем левом углу первой страницы статьи указывается индекс УДК. Через 1 интервал ниже помещается название статьи жирным и заглавным шрифтом. Через 1 интервал помещается фамилия (фамилии), и инициалы автора (авторов) жирным и заглавным шрифтом. Через 1 интервал указывается наименование организации. Через 1 интервал помещается аннотация на языке статьи объемом не более 10 строк и ключевые слова (5-6 слов) шрифтом 10. Через 1 интервал помещается основное содержание статьи шрифтом 12. В конце основного текста статьи проводится прочерк длиной 20-25 символов, после чего помещается список литературы без

какого-либо названия, в порядке нумерации ссылок в тексте статьи. После этого через 1 интервал помещаются аннотации на двух других языках – русском (или азербайджанском), английском и ключевые слова (5-6 слов) шрифтом 10.

В самом конце статьи помещаются контактные телефоны, факсы и E – mail, а также подписи всех авторов.

4.4. Графические материалы, фото, таблицы, формулы помещаются в соответствующих разделах текста статьи. Надписи, относящиеся к графическим материалам, помещаются в тексте статьи. В графическом материале указываются буквенные и цифровые обозначения, а их комментарии помещаются в тексте статьи. В нижней части графического материала указывается номер и может указываться название материала (напр., Рис.3. Схема установки....)

4.5. Список цитированной литературы приводится на языках оригиналов. Фамилии и инициалы авторов печатаются курсивом. Список литературы оформляется по образцу, приведенному ниже:

Книги

1. *Разевиг Д.В., Соколова М.В.* Расчет начальных и разрядных напряжений газовых промежутков. М.: Энергия, 1977. - 178 с.

2. *De Gennes P.G.* The Physics of Liquid Crystals. London: Cambridge Univ. Press, 1974.

3. *Скальный А.В.* Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Оникс 21 век. 2004. 216 с.

Журналы

4. *Аганов В.Г., Разевиг Д.В.* // Электричество. - 1972. - № 5. - с. 32-36.

5. *Ялякбяров О.З.* // Физика-1999-№ 3- с.44-49.

6. *Гашимов А.М., Нурубейли Т.К., Нуриев К.З., Гурбанов К.Б.* //Журнал технической физики. 2009, т. 79, № 8, с. 99-103

Депонированные рукописи

7. *Иванов Л.П.* М., 1985. 40с. - Деп. в ВИНТИ 25.10.85, №19233.

8. *Викулина Т.Д.*; 1998. 214 с. – Деп. в ИНИОН РАН 06.10.98, № 53913.

Диссертации

9. *Петров В.Г.* Дис. канд. физ.-мат. наук. Л.: Институт Высокомолекулярных соединений, 1985.

10. *Сидоров Н.В.* Дис. д-ра хим. наук. Новосибирск: Институт Химии, 1979.

11. *Аношкина Ю.В.* Дис. канд. хим. наук. Томский государственный университет, 2012

Авторские свидетельства и патенты

12. *Алиев С.Г., Джалалов К.Х.* А.С. 163514 СССР // Б.И. 1988. № 4.с.50

13. Пат. 3386968 США // РЖ ФИЗ. 1970, 25, с. 400.

14. *Langsam M., Savoca A.C.L.* Pat. 4759776, USA, 1988.

15. *Гашимов А.М., Гурбанов К.Б.* // Пат. İ 2015 0010, Баку, 2015

Конференции, симпозиумы

16. *Медведев П.Т.* // Тез. докл. III Всесоюз. Совещ. по проблемам энергетики. Л.: Изд. ЛПИ, 1984, с.30.

17. *Нуриев К.З., Гурбанов К.Б., Нурубейли З.К.*, //Тез. док. IV Всероссийская конференция «Масс-спектрометрия и ее прикладные проблемы» 2011 г. Москва с. 92

FOR THE ATTENTION OF AUTHORS

1. General Rules.

The **Journal of Electric Power** is dedicated to publicize scientific research articles reflecting the current problems in the electric power systems, heat transfer, technology and information technology, and digests.

The main purpose of the Journal is publishing of the original scientific articles, meeting high quality requirements.

The journal also informs about the results of conferences, seminars, various scientific schools, and the events taking place in the scientific society.

The editorial board reserves the right not to publish the submitted documents, which for various reasons do not satisfy the requirements of the Journal.

2. Submission of the papers.

The papers must be submitted to the editorial body at the following address:

Azerbaijan, Aз-1143, Baku, pr. G.Javid, 131
Institute of Physics of the National Academy of Sciences of Azerbaijan
Tel: (994 12) 539-16-60; 539-44-02; Fax: (994 12) 539-31-16

E-mail: a.hashimov@physics.science.az;
For the Attention of K.B. Kurbanov – the Responsible Secretary

3. The Language

The papers can be accepted in either of Azeri, Russian or English. The papers submitted by Azerbaijani authors must be submitted in Azeri and Russian, the papers of those from CIS countries—in Russian, and those originated from the countries outside CIS—in English.

4. The papers must be submitted in the following format.

- 4.1. The hard copy of the paper must be submitted on the A4 format in 1-line interval, typed in “Times New Roman”, in 12 font, with the borders from top and bottom – 20 mm, from left and right – 25 mm. The electronic copy on a CD-disk should be submitted along with the hard copy.
- 4.2. The paper must not contain more than 8 pages of text, inclusive of any graphs, photos, formulas, reference lists and annotations.
- 4.3. In the upper left corner of the paper the index of UDC must be indicated. Below that, omitting one line, the name of the article must be placed printed in a **BOLD CAPITAL LETTERS**. Underneath the name of the paper, omitting 1 line, the name of the author(s) printed in capital letters must be printed. Below that, omitting 1 line, the name of the organization must be indicated, which supported the research. The abstract follows that, leaving 1 line of blank space, which must be no more than 10 lines, and keywords (5-6 words) of font 10. The text of the paper follows the abstract, leaving 1 line. Drawing a line with the length 20-25 symbols must indicate the end of the text. The reference list is printed below the line, following the same order as it was referred to in the text. Below the

reference list, the summaries and keywords (5-6 words) in Russian and English must follow.

At the end of the paper, the contact details must be placed, and also all the authors must put their signatures.

4.4. All graphic materials, photos, tables, formulas must be placed in the corresponding place of the text. The legends must be placed in the text. All the keys to the symbols must be given in the text of the paper. Below the graphic material the number can be indicated followed by the name of the material (e.g. Fig. 3. Schematic drawing of the installation...)

4.5. The cited materials must be referred to using their original language. The names of authors must be given in *italics*. The reference list must follow the example below:

Books

1. *Gielen M., Tiekink E.R.T.* Metallotherapeutic Drugs and Metal-Based Diagnostic Agents. N.Y.: Wiley. 2005. 598 p.

2. *Venkatesh Iyengar G., Subramanian K.S., Woittiez J.R.W.* Element Analysis of Biological Samples: Principles and Practices, V II. N.Y.: CRC Press. 1997. 272 p.

Journals

3. *Timerbaev A.R.* // J. Anal. At. Spectrom. 2014. V. 29. № 6. P. 1058–1072.

4. *Guo W., Hu Sh., Zhang J., Hu Zh., Zhang H., Wang Y.* // Talanta. 2012. V. 91. P. 60–64.

Patents

5. *Langsam M., Savoca A.C.L.* Pat. 4759776, USA, 1988.

6. *Hashimov A.M., Qurbanov K.B.*//Pat. İ 2015 0010, Baku, 2015

Deposited manuscripts

7. *Ivanov L.P. M.*, 1985, 40s. - Dep. in VINITI 10/25/85, No. 19233.

8. *Vikulina T.D.*; 1998, 214 s. - Dep. at INION RAN 06.10.98, No. 53913.

Dissertation

9. *Petrov V.G.* Dis. Cand. phys.-mat. sciences. L.: Institute of High Molecular Compounds, 1985.

10. *Sidorov N.V.* Dis. Dr. chem. sciences. Novosibirsk: Institute of Chemistry, 1979.

11. *Anoshkina Yu.V.* PhD in chem. Tomsk State University, 2012

Conferences, symposia

16. *Medvedev P.T.* // Abstracts. report III All-Union. Meeting. on energy problems. L. : Ed. LPI, 1984, p. 30.

17. *Nuriev K.Z., Gurbanov K. B., Nurubeyli Z. K.*// Abstracts of documents. IV All-Russian conference "Mass spectrometry and its applied problems" 2011 Moscow p. 92

QEYD ÜÇÜN

ДЛЯ ЗАМЕТОК

ENERGETİKANIN PROBLEMLƏRİ

elmi – texniki jurnal

№ 1 2025

AR Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunun əməkdaşı Z.A.Tağıyeva tərəfindən yığılıb,
nəşrə hazırlanmışdır

Qeydiyyat №-si: B 507

Tiraj 50 nüsxə

Bakı

Redaksiyanın ünvanları: Bakı, Az-1143, H.Cavid prospekti, 131, Az.MEA Fizika İnstitutu

Bakı, Az -1602, H.Zərdabi prospekti, 94, Az.ETE və ELİ