

ISSN 2010-7242

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI FANLAR AKADEMIYASI

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR
VAZIRLIGI

**INFORMATIKA VA ENERGETIKA
MUAMMOLARI**
O'zbekiston jurnali

Узбекский журнал
**ПРОБЛЕМЫ
ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

**Uzbek Journal
OF THE PROBLEMS OF
INFORMATICS AND ENERGETICS**

2

2025

FAN VA TEXNOLOGIYA

ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI FANLAR АКАДЕМИЯСИ
АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН
ЎЗБЕКИСТОН RESPUBLIKASI RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR
VAZIRLIGI
МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН

ИНФОРМАТИКА
VA ENERGETIKA
MUAMMOLARI

2·2025

ПРОБЛЕМЫ
ИНФОРМАТИКИ
И ЭНЕРГЕТИКИ

*Журнал под таким названием издается с января 1992 г.
по 6 номеров в год*

Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi

ТАШКЕНТ– 2025

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ш.Х. ФАЗЫЛОВ (*главный редактор*)
Х.М. МУРАТОВ (*зам. главного редактора*)
Б.М. АЗИМОВ (*ответственный секретарь*)
О.З.ТОИРОВ (*ответственный секретарь*)
Ф.Т.АДЫЛОВА
С.Ф.АМИРОВ
Р.А.ЗАХИДОВ
Х.З.ИГАМБЕРДИЕВ
М.А. ИСМАИЛОВ
О.Х.ИШНАЗАРОВ
А.В.КАБУЛОВ
М.М. КАМИЛОВ
А.Р.КАРПЕНКО
Н.М.МИРЗАЕВ
М.М.МУСАЕВ
В.Н.ОПАНАСЕНКО
С.А.САДУЛЛАЕВ
В.В.СТАРОВОЙТОВ
Л.Ф.СУЛЮКОВА
Г.Н.УЗАКОВ
С.С.ХАЛИКОВ
Р.Х.ХАМДАМОВ
А.А.ШАВАЗОВ

Адрес редакции:

100173, г.Ташкент, ул.Фозилтепа, 22б
Телефоны +998 90 927 72 13, +998 90 965 43 28
e-mail: informatika-energetika@mail.ru

*Редактор: Ш. Кушербоева
Технический редактор: А. Муйдинов
Компьютерная верстка: Ш. Миркосимова*

Журнал зарегистрирован Агентством по печати и информации Республики Узбекистан 22.12.2006 г.
Регистрационный №0046. Изд. лиц. А1 №149, 14.08.09. Изд. №3-75. Сдано в набор 28.10.2025 Подписано в печать.
05.12.2025 Формат 60×84 1/8.
Гарнитура литературная. Печать офсетная. Бумага офсетная. Усл-печ. л. . 11.42. Уч. - изд. л.7.81. Тираж 150. Заказ № ...
Цена договорная.

Издательство «Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi»: 100173, г.Ташкент, ул.Фозилтепа, 22б.
Отпечатано в типографии Научно-исследовательского института развития цифровых технологий и
искусственного интеллекта при Министерстве цифровых технологий
Республики Узбекистан: 100125, Тошкент ш., Буз-2 мавзеси,17А уй.

«Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi»

ТАШКЕНТ – 2025

УЎК 621.3.072.9

Х.М. МУРАТОВ, Ж.Н. ТОЛИПОВ, Б.Н. ЭРКИНОВ

ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКА ТИЗИМЛАРИДА ТАҚСИМЛАНГАН ГЕНЕРАЦИЯ МАНБАЛАРИНИНГ ИНТЕГРАЦИЯСИ ВА ҚУВВАТ ОҚИМИНИ ОПТИМАЛ БОШҚАРИШ СТРАТЕГИЯЛАРИ

Ушбу мақолада тақсимланган генерация манбалари уланган электр тармоқларда қувват оқимини оптималлаштириш муаммолари ва уларнинг ечим усуллари таҳлил қилинади. Тақсимланган генерация манбаларини интеграция қилиш натижасида икки томонлама қувват оқимлари, тикланувчи энергия манбалари чиқишининг ноаниқлиги ва тармоқ тузилиши мураккаблашуви каби муаммолар юзага келади. Мақолада анъанавий детерминистик оптималлаштириш усуллари – чизиқли ва ночизиқли дастурлаш ҳамда замонавий сунъий интеллект асосидаги методлар – генетик алгоритм, заррачалар тўдаси, сунъий нейрон тармоқлар ва машина ўқитиш технологиялари ёритиб берилган. Шунингдек, марказлашган ва тарқок бошқарув тизимлари, энергия саклаш тизимларининг тармоқ барқарорлиги ва ишончилигини оширишдаги роли муҳокама қилинади. Турли бошқарув усуллари назорат даражаси, мураккаблик, мослашувчанлик ва барқарорлик мезонлари бўйича таққослаб таҳлил қилинган. Таклиф этилган ёндашувлар қувват оқимини самарали бошқариш, йўқотишларни минималлаштириш ва кучланиш барқарорлигини оширишга хизмат қилади.

Калит сўзлар: тақсимланган генерация, қувват оқимини оптималлаштириш, электр тармоқлар, оптималлаштириш усуллари, тармоқ барқарорлиги.

Х.М. Муратов, Ж.Н. Толипов, Б.Н. Эркинов

Интеграция источников распределённой генерации и стратегии оптимального управления потоками мощности в электроэнергетических системах

В данной статье рассматриваются проблемы и методы оптимизации потоков мощности в электрических сетях с подключёнными источниками распределённой генерации. Интеграция распределённых источников порождает такие сложности, как двусторонние потоки мощности, неопределённость выходной мощности возобновляемых источников энергии и усложнение структуры сети. В работе представлены традиционные детерминированные методы оптимизации – линейное и нелинейное программирование, а также современные методы, основанные на искусственном интеллекте – генетические алгоритмы, рой частиц, искусственные нейронные сети и технологии машинного обучения. Кроме того, обсуждается роль централизованных и децентрализованных систем управления, а также систем накопления энергии в повышении стабильности и надёжности электросетей. Проведён сравнительный анализ различных методов управления по уровням контроля, сложности, адаптивности и способности повышать устойчивость системы. Предложенные подходы способствуют эффективному управлению потоками мощности, минимизации потерь и улучшению устойчивости напряжения в интеллектуальных распределительных сетях с высокой долей распределённой генерации.

Ключевые слова: распределённая генерация, оптимизация потоков мощности, электрические сети, методы оптимизации, стабильность сети.

Integration of Distributed Generation Sources and Optimal Power Flow Control Strategies in Electric Power Systems

This article analyzes the problems and solution methods of power flow optimization in electrical networks with integrated distributed generation sources. The integration of distributed generation creates challenges such as bidirectional power flows, uncertainties due to renewable energy variability, and increased network complexity. The paper presents classical deterministic optimization methods, including linear and nonlinear programming, as well as modern artificial intelligence-based techniques such as genetic algorithms, particle swarm optimization, artificial neural networks, and machine learning approaches. Additionally, the role of centralized and decentralized control systems, as well as energy storage systems, is discussed in enhancing grid stability and reliability. Comparative analysis of different control methods is provided based on control level, complexity, adaptability, and stability improvement. The proposed solutions contribute to efficient management of power flows, minimization of losses, and improvement of voltage stability in smart distribution networks with high penetration of distributed generation.

Keywords: distributed generation, power flow optimization, electrical networks, optimization methods, network stability.

Ҳозирги кунда электр энергетика тизимларида тақсимланган генерация манбаларининг улуши ортиб бормоқда. Тикланувчи энергия манбалари - қуёш, шамол, биомасса ва бошқалардан фойдаланиш нафақат атроф-муҳитга ижобий таъсир кўрсатади, балки электр таъминоти тизимининг диверсификацияси ва барқарорлигини таъминлаш имконини ҳам яратади. Бирок тақсимланган генерация манбаларининг электр тармоқларига кенг миқёсда интеграция қилиниши қатор техник ва бошқарув муаммоларини келтириб чиқармоқда. Хусусан, электр тармоғида қувват оқимини самарали бошқариш масаласи ўта долзарб бўлиб қолмоқда. Тақсимланган генерация манбаларининг ишлаш хусусиятлари анъанавий марказлашган генерация тизимларидан тубдан фарқ қилади. Шу боисдан, ушбу мақолада тақсимланган генерация шароитида қувват оқимини бошқаришда вужудга келадиган асосий муаммолар таҳлил қилиниб, уларни бартараф этиш йўллари кўриб чиқилади.

Тақсимланган генерация шароитида қувват оқимини бошқаришдаги куйидаги муаммоларга дуч келади [1-3]:

- икки томонлама қувват оқими: тақсимланган генерация манбалари тармоққа нафақат энергияни етказиб бериши, балки истеъмолчилардан ортиқча энергияни қайтариши мумкин. Бу эса тармоқдаги қувват оқимининг йўналишини ўзгартириб, кучланишнинг нотўғри тақсимланишига ва ортиқча юклага олиб келиши мумкин.

- ноаниқлик ва ўзгарувчанлик: қуёш ва шамол энергияси каби тикланувчи энергия манбаларининг чиқиши ноаниқ ва вақт билан ўзгариб туради. Бу эса қувват оқимини аниқ башорат қилишни ва бошқаришни қийинлаштиради.

- тармоқнинг мураккаблиги: тақсимланган генерация манбаларининг кўпайиши билан тармоқнинг тузилиши мураккаблашади, бу эса қувват оқимини бошқариш ва оптималлаштириш учун илғор алгоритмларни талаб қилади.

Қувват оқими тенгламалари тармоқдаги i -туғундаги актив ва реактив қувватлар орқали аниқланади:

$$P_i = U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{i,j} \cos \theta_{i,j} + B_{i,j} \sin \theta_{i,j}), \quad (1)$$

$$Q_i = U_i \sum_{j=1}^N U_j (G_{i,j} \sin \theta_{i,j} - B_{i,j} \cos \theta_{i,j}), \quad (2)$$

бу ерда P_i, Q_i – i -туғундаги актив ва реактив қувватлар; U_i, U_j – i ва j – туғунлардаги кучланишлар, $G_{i,j}, B_{i,j}$ – i ва j туғунлар ўртасидаги линиянинг ўтказувчанлиги ва реактивлиги; $\theta_{i,j}$ – i ва j – туғунлар ўртасидаги фазалар фарқи.



1-расм. Электр тармоқларида бошқарув структураларининг классификацияси

Қувват оқимларини назорат қилиш тизимларининг афзалликлари ва камчиликлари

Тизим тури	Афзалликлари	Камчиликлари
Марказлашган	Аниқ назорат, умумий мувофиқлаштириш	Кечикишлар, марказдан боғлиқлик
Тарқоқ	Модуллилиқ, тезкор реакция	Умумий оптималликка тўлиқ мос келмаслиги
Автоном	Мустақил, интеллектуал ишлаш	Юқори таннарх, ишончлиқ масалалари

Тақсимланган генерация манбалари уланган электр тармоқларда қувват оқимини оптималлаштириш масаласи замонавий энергетика тизимларининг асосий вазифаларидан бири ҳисобланади (жадвал). Бу масала электр энергиясининг минимал йўқотишлар билан узатилиши, кучланишларни барқарор сақлаш, реактив қувватни самарали тақсимлаш ва тармоқ ресурсларидан оқилона фойдаланишни назарда тутати. Муаммонинг ўзи тақсимланган генерация манбаларининг жойлашуви, уларнинг иш режимлари ва бошқарув имкониятлари билан боғлиқ бўлиб, юқори даражада математик моделлаш ва интеллектуал ёндашувларни талаб этади (1-расм) [4 – 7].

Электр тармоқларида қувват оқимларини назорат қилиш энергия таъминотининг барқарорлигини таъминлаш, юкларни оптимал тақсимлаш, электр узатиш тизимининг хавфсизлигини ошириш ва электр энергияси истеъмолини самарали бошқариш учун муҳим аҳамият тақсимланган генерацияга эга. Замонавий электр тармоқларида қувват оқимларини назорат қилишнинг бир нечта усуллари мавжуд бўлиб, уларни анъанавий ва интеллектуал технологиялар асосида икки асосий турга ажратиш мумкин.

Қувват оқимларини назорат қилиш тизимлари қуйидаги асосий вазифаларни бажаради:

- Тармоқдаги кучланиш, ток ва частотани мониторинг қилиш – энергия таъминоти параметрларини доимий назоратда ушлаш.
- Юкларни динамик тақсимлаш – генерация ва истеъмол ўртасидаги балансни таъминлаш.
- Истеъмолчиларнинг талабини аниқлаш ва башорат қилиш – энергия таъминоти стратегиясини шакллантириш.
- Қувват оқимлари йўналишини назорат қилиш – электр энергиясининг қайси йўналишда оқишини белгилаш ва оптималлаштириш.
- Автоавария ҳимоя тизимларини ишга тушириш – ҳаддан ташқари юклама ва авария ҳолатларида тизимни ҳимоя қилиш.

Электр тармоқларида қувват оқимларини назорат қилиш - энергетика тизимининг барқарор ишлашини таъминлашда муҳим вазифа ҳисобланади. Бу вазифа орқали электр энергиясининг истеъмолчиларга узлуксиз ва аниқ миқдорда етиб бориши, кучланишлар даражаси меъёрда сақланиши, юкламалар ўзаро мувозанатлашишига эришилади. Қувват оқимини самарали назорат қилиш учун замонавий электр тармоқларида бир неча турдаги усуллар ва алгоритмлардан фойдаланилади [5].

Қувват оқимларини оптималлаштиришга доир кенг қамровли бир қатор илмий тадқиқотчилар томонидан анъанавий ва сунъий интеллект тақсимланган генерацияларга асосланган оптималлаштириш усуллари бўйича таҳлил ўтказган. Қувват оқимларини оптималлаштириш муаммоси электр энергетика тизимининг барқарор ишлаш самарадорлигини белгиланган мақсад функциясига нисбатан оптималлаштиришга қаратилган бўлиб, у бир қатор тенглик ва тенгсизлик кўринишидаги чеклов шартларига бўйсунувчи оптималлаштириш масаласи сифатида қаралади.

Актив қувватни оптимал тақсимлашда мақсад функцияси F (умумий генерация харажатлари) қуйидаги тенглама орқали ифодаланади:

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_g} a_i + b_i P_i + c_i P_i^2. \quad (3)$$

Бунда: F_T – умумий квадратик харажат функцияси; P_i – i -генератор томонидан ишлаб чиқарилаётган актив қувват; N_g – генерация шиналари сони; a_i , b_i , c_i - i -генератор учун ёқилғи харажати коэффициентлари.

Турли чеклов шартлари асосида қуйидагилар таъминланиши лозим:

(а) Тармоқда актив қувват мувозанати сақланиши шарт:

$$P_i(V, \delta) - P_{gi} + P_{di} = 0 \quad (i = 1, 2, \dots, NB). \quad (4)$$

(б) Тармоқда реактив қувват мувозанати таъминланиши шарт:

$$Q_i(V, \delta) - Q_{gi} + Q_{di} = 0 \quad (i = NV + 1, NV + 2, \dots, NB). \quad (5)$$

(с) Хавфсизликка оид чекловлар:

Актив қувват генерацияси чекловлари:

$$P_i^{min} \leq P_i \leq P_i^{max} \quad (i = 1, 2, \dots, NG). \quad (6)$$

Кучланиш амплитудаси чекловлари:

$$V_i^{min} \leq V_i \leq V_i^{max} \quad (i = NV+1, NV+2, \dots, NB). \quad (7)$$

Кучланиш фазаси бурчаги чекловлари:

$$\delta_i^{min} \leq \delta_i \leq \delta_i^{max} \quad (i = 1, 2, \dots, NB). \quad (8)$$

Актив қувват оқими тенгламалари қуйидагича:

$$P_i(V, \delta) = V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j (G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)). \quad (9)$$

Реактив қувват оқими тенгламалари қуйидагича:

$$Q_i(V, \delta) = V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j (G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)). \quad (10)$$

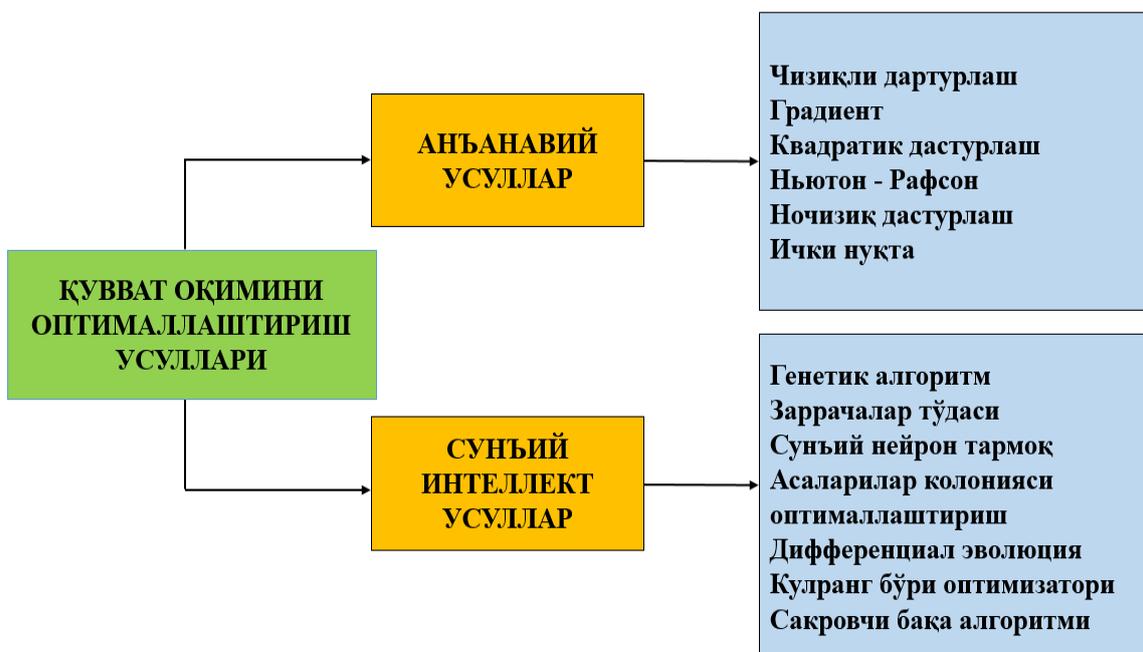
Қувват оқимини оптималлаштириш ечим усуллари иккита асосий тоифага ажратилади:

- ✓ Анъанавий усуллар.
- ✓ Сунъий интеллект асосидаги усуллар.

Бу усуллар қуйидаги 2- расмда кўрсатилган. Анъанавий усуллар детерминистик ёки анъанавий оптималлаштириш усуллари деб аталиб, бу усулларни қўллаш яқин ўтмишда фаол тадқиқот соҳаси бўлган. Анъанавий усуллар математик дастурлаштириш ёндашувларига асосланади ва турли ўлчамдаги қувват оқимини оптималлаштириш масалаларини ечишда фойдаланилади.

Ҳар хил мақсадли функциялар, қўллаш турлари ва чекловлар хусусиятини ҳисобга олган ҳолда, анъанавий усуллар қуйидагича туркумланади:

1. Чизикли дастурлаш.
2. Градиент усуллар.
3. Квадратик дастурлаш.
4. Ньютон-Рафсон усули.
5. Ночизик дастурлаш.
6. Ички нуқта усули (Interior Point Method).



2-расм. Қувват оқимини оптималлаштириш ечим усуллари

Гарчи классик усуллар бўйича катта ютуқларга эришилган бўлсада, улар қуйидаги камчиликларга эга:

1. Айримлари функцияни чизиклаштиришни талаб қилади.
2. Айримлари дифференциалланувчанлик шартини талаб қилади.
3. Маҳаллий оптимумда тўхтаб қолиши мумкин.
4. Сифат чекловларини ҳисобга олишда етарлича самарали эмас.
5. Ўзгарувчилар сони кўп бўлса, ҳисоблаш жуда секинлашади.
6. Фақат битта оптимал ечимни топишга қодир (бир марта симуляцияда).

Интеллектуал қидирув усуллари глобал ёки глобалга яқин оптимал ечимларни топишда муҳим техника сифатида шаклланди. Бу усуллар нон – детерминистик ёки стохастик усуллар деб ҳам аталади. Ушбу усулларнинг асосий афзалликлари қуйидагилардан иборат:

- ❖ Турли сифат кўринишидаги чекловларни ҳисобга олиш қобилияти.
- ❖ Бир марталик моделлаштиришда бир нечта оптимал ечимларни топиш имконияти.
- ❖ Кўп мақсадли оптималлаштириш муаммоларини ечишда мослиги.
- ❖ Глобал оптимум ечимни топиш имконияти.

Кўплаб нон-детерминистик оптималлаштириш усуллари ишлаб чиқилган ва глобал оптималлаштириш муаммоларига татбиқ этилган. Бу усуллар анъанавий детерминистик алгоритмларнинг глобал қидирув имкониятларини тўлдиришга қаратилган. Шу каби усуллар қуйидагича қувват оқимини оптималлаштириш муаммоларида ҳам қўлланган:

1. Генетик алгоритм (Genetic Algorithm).
2. Заррачалар тўдаси (Particle Swarm).
3. Сунъий нейрон тармоқ (Artificial Neural Network).
4. Асаларилар колонияси оптималлаштириш (Bee Colony Optimization).
5. Дифференциал эволюция (Differential Evolution).
6. Кулранг бўри оптимизатори (Grey Wolf Optimizer).
7. Сакровчи бақа алгоритми (Shuffled Frog-Leaping).

Генетик алгоритм муаммо параметрларининг кодланган иккилик сатрларида ишлайди. Ҳар бир сатр хромосома сифатида қаралади ва бу сатр муаммонинг ягона ечимини тўлиқ тасвирлайди. Оддий генетик алгоритм – бу итеритив жараён бўлиб, ҳар бир авлодда учта генетик оператор: танлаш, кроссовер ва мутация орқали янги авлод (offspring) ҳосил қилинади.

Заррачалар тўдаси алгоритми табиатдаги қушлар парвозини моделлаштириш асосида ишлайди. Ҳар бир “заррача” ечим фазосида ҳаракат қилиб, ўзининг ва гуруҳнинг энг яхши ҳолатига яқинлашади. Қувват оқимини оптималлаштиришда бу усул тез ва самарали яқун топиш хусусиятига эга.

Ҳар бир заррача учун жорий ҳолат янгиланади:

Тезликни янгилашни:

$$v_i^{t+1} = \omega v_i^t + c_1 r_1 (p_i^t - x_i^t) + c_2 r_2 (g^t - x_i^t) \quad (11)$$

Позиция янгилашни:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (12)$$

Бунда x_i – позиция (энг яқин ечим); v_i – тезлик; p_i – индивидуал энг яхши позиция; g – гуруҳнинг энг яхши позицияси; w , c_1 , c_2 – модел параметрлари; r_1 , r_2 – тасодифий сонлар.

Сунъий нейрон тармоқлар катта ҳажмдаги маълумотларни қайта ишлаш ва ўрганиш қобилиятига эга бўлиб, қувват оқимини башорат қилиш, қувват тақсимооти тенденцияларини аниқлаш ва бошқарув қарорларини қабул қилишда қўлланилади:

$$y = f(\sum_{i=1}^n \omega_i x_i + b). \quad (13)$$

Бунда ω_i – вазнлар; x_i – кириш маълумотлари; b – офсет (bias).

Асаларилар колонияси оптималлаштириш усулида асалариларнинг озуқа қидириш хулқини моделлаштириш асосида ишлайди. Қувват оқимини оптималлаштиришда у мураккаб топологияли тармоқларда самарали қидирув стратегияси сифатида ишлатилиши мумкин. Ушбу усулда янги ечим қидирилади:

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}). \quad (14)$$

Бунда x_{ij} – жорий ечим; x_{kj} – бошқа тасодифий танланган ечим; ϕ_{ij} – тасодифий сон $[-1.1]$ оралиғида.

Дифференциал эволюция алгоритми параметрлар фарқи асосланган мураккаб функцияларни оптималлаштириш учун мослашувчан ва самарали усул ҳисобланади. У кўп ўлчамли ва ночизиқ қувват оқими масалаларида юқори самара беради. Шунингдек, кулранг бўри оптимизатори усули гуруҳ иерархияси ва ов қилиш стратегияси асосида ишлайди. Бу усул оптималлаштириш жараёнида баланс ва қидирув қобилиятини яхши таъминлайди. Сакровчи бақа алгоритмида “бақалар гуруҳи” даги индивидуал иштирокчиларнинг ҳамкорликда қидирув қилишини моделлаштиради. У тез конвергенция ва кенг қидирув қобилиятига эга бўлиб, ноаниқ ва мураккаб қувват оқими муаммолари учун фойдали бўлади.

Ушбу мақолада тақсимланган генерация манбалари уланган электр тармоқларда қувват оқимини бошқариш ва оптималлаштириш муаммоси атрофлича таҳлил қилинди. Тақсимланган генерация манбаларининг электр тармоқларига интеграция қилиниши қатор техник ва бошқарув

кийинчиликларини келтириб чиқармоқда. Хусусан, икки томонлама қувват оқимлари, тикланувчи энергия манбаларининг ноаниқлиги ва тармоқ тузилиши мураккаблашуви қувват оқимини самарали бошқаришни талаб этади.

Қувват оқимини оптималлаштириш масаласида анъанавий ва интеллектуал усулларнинг афзалликлари ва камчиликлари тадқиқ этилди. Анъанавий оптималлаштириш усуллари – чизикли дастурлаш, градиент усуллари, ночизикли дастурлаш ва бошқалар аниқ математик моделларга асосланган бўлса-да, кўп ўлчамли ва ноаниқ муаммоларда маҳаллий минимумда тўхтаб қолиш хавфига эга. Шу боис, сунъий интеллект асосидаги интеллектуал усуллар – генетик алгоритм, заррачалар тўдаси, сунъий нейрон тармоқлар, асаларилар колонияси, дифференциал эволюция, кулранг бўри ва сакровчи бақа алгоритмлари каби глобал оптимал ечимни топиш имконияти юқори бўлган алгоритмлар тавсия этилади.

Интеллектуал усуллар қувват оқимини бошқаришда ноаниқлик ва ўзгарувчанликни ҳисобга олиш, бир нечта мақсад функцияларини биргаликда оптималлаштириш ҳамда самарали ва барқарор бошқарувни таъминлаш имкониятини яратади. Келгусида мазкур усулларнинг гибридлаштирилган моделларини ишлаб чиқиш ва амалий электр тармоқларида жорий этиш соҳасида кенг қамровли тадқиқотлар олиб бориш мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Qusay Hassan, Sameer Algburi, Aws Zuhair Sameen, Hayder M. Salman, Marek Jaszczur. A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications. *Results in Engineering*. Vol. 20. 2023. 101621. ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621>.
2. Gerhardt E., Gomes H. M. Artificial bee colony (ABC) algorithm for engineering optimization problems // In International Conference on Engineering Optimization. 2012. July. P. 1 – 11.
3. Aggelos S. Bouhouras, Paschalis A. Gkaidatzis, Dimitris P. Labridis. Network Reconfiguration in Modern Power Distribution Networks. 2020. doi: 10.1007/978-3-030-36115-0_7.
4. Gurobi Optimization. L. Gurobi optimizer reference manual. 2021. <https://docs.gurobi.com/projects/optimizer/en/current/index.html>.
5. Sanjeev Kumar, Chaturvedi D.K. Optimal power flow solution using fuzzy evolutionary and swarm optimization // *Electrical Power and Energy Systems* 47. 2013. P. 416–423.
6. Praveen J. Srinivasa B. Rao. Single objective optimization using PSO with Interline Power Flow Controller // *International Electrical Engineering Journal*. Vol. 5. 2014. No. 12. P. 1659 – 1664.
7. Saravanan T., Saritha G., Srinivasan V. Optimal Power Flow Using Particle Swarm Optimization // *Middle-East Journal of Scientific Research*. 2014.20 (11). P. 1554 – 1560.

О.З. ТОИРОВ, О.А. ШОДИЕВ

**ТОҒ-КОН МАССАСИНИ ҚАЗИШ ЖАРАЁНИДА ЭКСКАВАТОРЛАРНИНГ ЗАМОНАВИЙ
ҲОЛАТИ ВА ЭНЕРГИЯ ТЕЖАМКОРЛИК МАСАЛАЛАРИ**

Ушбу мақолада тоғ-кон массасини қазиш жараёнида карьер экскаваторларининг ҳозирги амалда қўлланилиб келинаётган электр юритмаларининг бошқариш тизимлари, уларнинг динамик ва иш режимлари ҳамда электромеханик тизимнинг унумдорлигини оширишга қаратилган ишлар таҳлил қилинган. Шунингдек, экскаватор электр юритмаларининг иш режимларини яхшилаш, уларда энергия самарадорлигини ошириш бўйича олиб борилган илмий - тадқиқот ишларининг асосий йўналишлари таҳлил қилинган. Кон шароитида қўлланилувчи экскаваторларнинг бошқарув тизимлари бўйича солиштирма электр энергияси истеъмоли ўзаро таққосланиб, электр механик тизимларнинг самарадорлигига таъсир этувчи факторлар таҳлил қилинган. Илмий адабиётлар таҳлили ҳамда республика кон-металлургия комбинати бўлинмаларида ўрганилган илмий - амалий ишларни ўрганиш асосида тадқиқотнинг мақсад ва вазибалари белгилаб олинган.

Калит сўзлар: руда қазиш жараёни, карьер экскаватори, электр юритма, бошқариш тизимлари, частота ўзгартиргич, солиштирма электр энергияси сарфи.

О.З. Тоиров, О.А. Шодиев

Современное состояние экскаваторов и вопросы энергосбережения при выемке горных пород

В данной статье проведен анализ систем управления электроприводами карьерных экскаваторов, используемых в настоящее время на горных работах, их динамических и рабочих режимов, а также работ, направленных на повышение эффективности электромеханической системы. Проанализированы основные направления научно-исследовательских работ по совершенствованию режимов работы электроприводов экскаваторов и повышению их энергоэффективности. Проведено сравнение относительного расхода электроэнергии системами управления экскаваторов, используемых в шахтных условиях, и охарактеризованы факторы, влияющие на эффективность электромеханических систем. Цели и задачи исследования определены на основе анализа научной литературы и изучения научно-практических работ, проводимых в подразделениях республиканского горно-металлургического комбината.

Ключевые слова: выемка горных пород, карьерный экскаватор, электропривод, системы управления, преобразователь частоты, удельный расход электроэнергии.

O.Z. Toirov, O.A. Shodiev

Current state of excavators and energy saving issues in rock excavation

This article analyzes the control systems of electric drives of quarry excavators currently used in mining operations, their dynamic and operating modes, as well as work aimed at increasing the efficiency of the electromechanical system. The main areas of research and development to improve excavator electric drive operating modes and enhance their energy efficiency are also analyzed. The relative energy consumption of excavator control systems used in mining environments is compared, and the factors influencing the efficiency of electromechanical systems are analyzed. The goals and objectives of the study were determined on the basis of an analysis of scientific literature and a study of scientific and practical work carried out in the divisions of the republican mining and metallurgical complex.

Keywords: rock excavation, quarry excavator, electric drive, control systems, frequency converter, specific energy consumption.

Тоғ-кон саноатининг энергияни кўп талаб қиладиган жараёнлари бу руда қазиш жараёни ҳамда рудаларни ташиш жараёни ҳисобланади. Кон массасини қазиш ва юклаш жараёнида бир чўмичли карьер экскаваторларидан кенг фойдаланилади. Кон массасини қазиш жараёнида турли хил ҳажмга эга бўлган ковш механизмлари карьер экскаваторлари қўлланилади [1].

Ушбу турдаги карьер экскаваторлари юқори қувватга эга ҳамда механик чидамли механизмлар бўлиб, қаттиқлик даражаси юқори бўлган кон рудаларини қазиб ҳамда ташиш транспортига юклаб бериш учун энг ишончли қурилмалар ҳисобланади. Юқори механик ишқаланиш ва катта босим натижасида экскаватор механизмларининг юқори даражада емирилиши кузатилади. Катта миқдордаги босим ўзгариши эса механик синишлар сонининг ортишига олиб келади [2].

Маълумки, руда қазиб ҳар хил турдаги карьер экскаваторлари билан амалга оширилади, бунда асосий юритма сифатида дизель двигателлари, ўзгарувчан ток ва ўзгармас ток электр моторлари фойдаланилади. Тоғ-кон саноатида руда қазиб ва юклаш жараёнида ўзгарувчан токнинг электр моторлари билан юқори унумдорликдаги қазиб машиналаридан фойдаланиш тавсия этилади. Уларнинг афзалликлари шундаки, улар ишлаб чиқаришнинг бошқа соҳаларида қўлланиладиган бошқа турдаги электр моторлар билан солиштирганда кам қувват сарфи ва юқори энергия тежамкорликка эга. Бундай карьер экскаваторларида электр энергиясининг асосий ва захира манбаи сифатида дизель электр станциялари ёки газ турбинали генераторлар қўлланилади. Электромеханик тизимнинг электр энергияси истеъмолини камайтириш орқали электр станцияларида ёқилғи сарфини камайтиришга олиб келади [3,4].

Тоғ кон саноатида қўлланиладиган экскаватор электр юритмаларининг экспериментал тадқиқотлари ҳамда ушбу йўналиш бўйича амалга оширилган илмий адабиётларни таҳлил қилиш натижасида, экскаваторлар электр юритмаларининг бошқарув тизимлари самарадорлигини ошириш ва экскаваторларда энергия тежамкорлигига эришишнинг асосий йўналишлари (1-расм) белгилаб олинди



1-расм. Экскаватор қурилмаларининг замонавий ҳолати бўйича адабиётлар таҳлилининг асосий илмий йўналишлари

Электромеханик тизимнинг замонавий бошқариш усуллари таҳлил қилиш борасидаги илмий ишлар карьер экскаваторларининг иш жараёнини чуқур таҳлил қилиш, уларнинг самарадорлигини ошириш ва ишончилигини таъминлаш мақсадида математик моделлар ишлаб чиқишга қаратилган бўлиб, турли тадқиқотлар бир-бирини тўлдирадиган натижалар берган. К.А. Кононенко ва А.Г. Шпагин бир чўмичли экскаваторнинг асосий механизмлари ғ стрела ва ковш ҳаракатларини турли юклама шароитларида таҳлил қилиб, инерция кучлари, оғирлик маркази силжиши ва конструкциядаги кучланишлар таъсирини ҳисобга олган ҳолда математик моделлар яратган. Ушбу моделлар реал иш жараёнига яқин шароитларда бошқарув алгоритмларини оптималлаштириш, механик узелларнинг орттиқча зўриқишини олдини олиш ва ресурс тежаш имконини беради. Б.Н. Петров ва И.П. Соловьёв карьер машиналарининг асосий ва ёрдамчи механизмлари (ковш, рукоят, бурилиш платформаси) учун электр юритмалар динамикасини моделлаштириб, кучланиш-тезлик-гармоник боғланмалар, момент ва юклама қаршилиги таъсирини комплекс баҳолаган. Уларнинг моделлари турли вақтинчалик ва турғун режимларда юқори аниқлик билан ишлаши ҳамда автоматлаштирилган бошқарув тизимларига интеграция қилиниши билан ажралиб туради [5].

Карьер экскаваторларининг ишончилиги – уларнинг узлуксиз, хавфсиз ва самарали ишлашини таъминловчи муҳим мезон ҳисобланади. Ишончилиқни ошириш нафақат асосий юритмалар, балки насослар, компрессорлар, ёрдамчи моторлар ва бошқа элементлар учун ҳам муҳимдир. Бу жараёни оптималлаштириш учун бир неча асосий йўналишлар ажратиб кўрсатилади: Қазилш ва юклаш режимларини бошқариш. Асосий механизмлар (ковш, рукоят, бурилиш платформаси) фаолияти юкламага мослашган ҳолда бошқарилиши керак. Ишчи органларнинг динамик юкламалари реал вақтда кузатилиб, оптимал тезлик ва момент таъминотини бошқарувчи алгоритмлар жорий этилади. Автоматлаштирилган бошқарув тизимлари орқали юкламага жавоб равишда ҳаракат хусусиятлари ўзгартирилади. Ёрдамчи қурилмаларнинг ишончли ишлаши: Насослар, компрессорлар ва вентиляторлар каби ёрдамчи тизимлар экскаваторнинг иш фаолиятида ҳал қилувчи рол ўйнайди. Бу қурилмаларнинг ишончли ишлаши учун резерв таъминот манбалари (аккумулятор, дизел генераторлар) жорий этилади. Ҳар бир ёрдамчи қурилма учун сенсорли назорат ва интеллектуал сигнализация тизимлари орқали носозликлар олди олинади. Интеллектуал бошқарув ва мониторинг: Ишончилиқни оширишнинг энг самарали усули – интеллектуал назорат алгоритмларидан фойдаланиш. Бу алгоритмлар ҳар бир мотор ёки механизмни алоҳида ўрганиб, улар учун оптимал ишга тушиш ва тўхташ шароитини яратади. Сенсорлар орқали тўпланган маълумотлар асосида профилактик таъмирлаш стратегияси ишлаб чиқилади. Таъмирлаш ва профилактика стратегияси Статистик таҳлиллар орқали насос ва компрессорларнинг ишлаш даври, эскириш хусусиятлари баҳоланади. Ушбу маълумотлар асосида профилактик таъмирлаш интерваллари белгиланади. Тизимлар ўртасидаги боғлиқлик ва авария эҳтимолини камайтириш мақсадида узлуксиз диагностика амалга оширилади [6].

Карьер экскаваторларини эксплуатация қилиш жараёнида энергия самарадорлигини ошириш масаласи замонавий кончилик саноатида долзарб йўналишлардан бири ҳисобланади. Экскаваторлар, айниқса, йирик карьерлардаги қазилш-юклаш ишларининг асосий ишчи техникаси сифатида доимий юклама, турли геологик шароит ва ўзгарувчан иш режимларида фаолият юритади. Бу эса, ўз навбатида, катта миқдорда электр энергияси сарфини келтириб чиқаради. Шу боис, уларни эксплуатация қилишда турли иш шароитларига мослашувчан,

тежамкор ва оптимал бошқарув ечимларини қўллаш зарурияти тобора ортиб бормоқда [7].

Охирги йилларда олиб борилган илмий-тадқиқот ишлари шундан далолат берадики, экскаваторнинг иш режимларини таҳлил қилиш, электр юритмаларининг юклама ва тезлик хусусиятларини оптималлаштириш ҳамда қўшимча энергия тежовчи технологияларни жорий этиш орқали умумий энергетик самарадорликни сезиларли даражада ошириш мумкин. Тадқиқотларда реал вақтда юклама мониторинги, интеллектуал бошқарув алгоритмлари, қайта тикловчи тормоз тизимлари ва резервлаштирилган таъминот схемалари каби ечимлар алоҳида ўрин тутмоқда.

Карьер экскаваторларида энергия самарадорлигини ошириш бўйича олиб борилган тадқиқотлар кенг турдаги инновацион ёндашув ва техник ечимларни ўз ичига олади. Т.С. Камалов ва О. Тоиров ишлаб чиққан методика ёрдамида очик конларда фойдаланилаётган экскаваторларнинг ёқилғи сарфи ва энергия самарадорлиги аниқ кўрсаткичлар асосида баҳоланиб, оптимал иш режимларини танлаш имкони яратилган [8].

Nguyen таклиф этган гибрид электродинамик пауэртрейн архитектурасида потенциал энергия тиклаш ва оптимал бошқарув стратегиялари қўлланилиши натижасида 36-45% гача самарадорликка эришилган [9]. Li ва ҳаммуаллифлар томонидан ишлаб чиқилган электрогидравлик бошқарув ва энергия тиклаш тизими эса симуляция натижаларига кўра 92 % гача тежамкорликни намоёйиш этган [10].

Янги авлод автоматлашган юритмаларини яратишда, электр машиналарининг динамик хусусиятларини тўлиқ ҳисобга олиш, юритма тизимида юзага келувчи юкланиш ўзгаришларини прогнозлаш, интеллектуал бошқарув алгоритмларини жорий қилиш, ҳамда ахборот алмашинувини тез ва ишончли амалга оширувчи рақамли интерфейслардан фойдаланиш талаб этилади. Шу билан бирга, бундай юритмаларда энергияни тежовчи режалар, қайта тикловчи тормозлаш тизимлари ҳамда иловалар орқали масофадан туриб мониторинг қилиш ва диагностика имкониятлари ҳам жорий этилмоқда.

Карьер экскаваторлари учун автоматлашган электр юритмаларни ишлаб чиқиш нафақат энергетик ва иқтисодий самарадорликни оширади, балки саноатни рақамлаштириш, ишчи хавфсизлигини таъминлаш ва экскаваторларнинг узок муддатли эксплуатациясида барқарорликни таъминлаш имконини беради. Ушбу соҳада олиб борилаётган тадқиқотлар ва илмий-амалий ишланмалар мамлакатимиз кончилик соҳасида технологик илдамликка эришишда муҳим ўрин тутди.

Journal of Mechatronix тадқиқотларида автоматлаштириш, конструкция элементларини жойлаштириш ва тиклаш тизимларини такомиллаштириш орқали иш фаолияти ва экологик самарадорлик ўртасидаги боғлиқлик аниқланган [11]. Алиев ва Абдураззоқов эса экскаваторнинг кинетик ва геометрик параметрларини таҳлил қилиб, қазилар жараёнининг ҳар бир ҳаракат сегментида сарфланадиган энергияни ҳисоблаш моделларини таклиф этган [12].

Energy Conversion & Management тадқиқотида гибрид гидравлик экскаватор учун энергия бошқарувнинг мослашувчан усули қўлланилиб, ёқилғи истеъмоли ва чиқиндиларни 30–48 % гача камайтириш имконияти кўрсатилган [13].

Юқорида таҳлил қилинган илмий ишлардан маълум бўлишича, руда қазиб олишдаги шартли энергия сарфини қисқартириш масаласи кўп жиҳатдан руданинг физик-механик хусусиятлари, айниқса, зичлик ва қаттиқлик даражаси,

ҳамда экскаваторнинг ортиш механизмлари ва уларнинг бошқарув тизимига боғлиқ эканлиги тасдиқланган.

Тадқиқотчилар томонидан қазиб жараёнида энергия талабининг ўзгариши математик моделлаштирилган, руда турига мос кесиш бурчаклари, траекториялар ва босим режимлари аниқланган. Энергия сарфини камайтириш учун қайта тикланувчи энергия ресурслари, ақлли датчиклар, реал вақтли бошқарув алгоритмлари, шунингдек, профилактик диагностик тизимлардан фойдаланиш таклиф этилган.

Industrial Automation мақоласида ишчи параметрлар ва цикл хусусиятларини таҳлил қилиш орқали оптимал бошқарув ечимлари ишлаб чиқилган [14]. Умуман, ушбу тадқиқотлар ва ишланмалар гибрид технологиялар, автоматлаштирилган бошқарув тизимлари ва энергия тиклаш усулларини интеграция қилиш орқали карьер экскаваторларининг иқтисодий ва экологик самарадорлигини сезиларли даражада ошириш имкониятини беради.

Карьер экскаваторларини эксплуатация қилишда ҳамда турли иш режимларида энергия самарадорлигини ошириш бўйича амалга оширилган илмий ишлар ва тадқиқотлар ва ишланмалар карьер экскаваторларида энергия самарадорлигини оширишда замонавий гибрид технологиялар, автоматлаштирилган бошқарув тизимлари ва энергия тиклаш усулларини интеграция қилишнинг юқори самарадорлигини тасдиқлайди. Илмий ишланмаларда таклиф этилган ечимлар — частота ўзгартиргичлардан фойдаланган ҳолда электр юритмаларни оптимал бошқариш, гибрид электромеханик ва гидравлик тизимларни уйғунлаштириш, аккумулятор ва ультраконденсаторлар ёрдамида энергияни қайта тиклаш ҳамда интеллектуал назорат алгоритмларини жорий этиш - натижада 20 % дан 90 % гача энергия тежаш имкониятини берадиган тизимларнинг моделлари яратилган. Шу билан бирга, қазиб ва юклаш жараёнларида ёқилги сарфини камайтириш, чиқиндилар миқдорини қисқартириш ва ускуналарнинг ишончилигини ошириш каби кўп қиррали ижобий таъсирларга эришилади. Бу эса, ўз навбатида, кон-саноат соҳасида иқтисодий самарадорликни ошириш ва экологик барқарорликни таъминлаш учун муҳим илмий ва амалий асос яратади.

Карьер экскаваторлари замонавий кончилик саноатида фойдали қазилмаларни қазиб олиш ва юклаш жараёнларида асосий ишчи механизмлардан бири ҳисобланади. Улар юқори иш унумдорлиги, катта қувват сарфи ва оғир иш шароитларида узлуксиз ишлаши билан ажралиб туради. Экскаваторларнинг электр юритмалари иш жараёнида кўплаб ўзгарувчан юкланишларга дуч келади, бу эса уларнинг иш режимларини тўғри танлаш ва оптимал бошқаришни талаб қилади. Электр юритмаларнинг иш режимларини моделлаштириш орқали уларнинг динамик ва статик ҳолатларини таҳлил қилиш, энергия самарадорлигини ошириш ҳамда хизмат муддатини узайтириш имкони яратилади. Бундай моделлар асосида турли тезлик ростлаш усулларини синовдан ўтказиш, юкланиш графикларини таҳлил қилиш ва электр энергияси сарфини камайтиришга қаратилган инжиниринг ечимларини ишлаб чиқиш мумкин. Шу боис, карьер экскаваторлари электр юритмаларининг иш режимларини моделлаштириш замонавий кончилик техникасини такомиллаштиришда муҳим илмий ва амалий аҳамиятга эга [15].

Карьер экскаваторларида автоматлашган электр юритмаларни ишлаб чиқиш саноатда энергетик самарадорликни ошириш, бошқарувнинг аниқлигини таъминлаш ва ишлаб чиқариш жараёнини юқори даражада автоматлаштириш орқали эксплуатацион харажатларни камайтиришнинг асосий йўналишларидан бири ҳисобланади. Экскаваторлар кончилик ва қурилиш соҳаларидаги асосий

ишчи машиналардан бири сифатида, уларнинг ишончилиги, тежамкорлиги ва самарадорлиги иш юритиш жараёнида муҳим омил ҳисобланади. Шу сабабли, электр юритмаларни автоматлаштириш орқали уларнинг техник ва иқтисодий кўрсаткичларини яхшилаш масаласи долзарб аҳамият касб этмоқда. Автоматлаштирилган электр юритмалар орқали карьер экскаваторларининг ҳаракатланувчи механизмлари, айниқса, ковш ҳаракати, бурилиш, стрела ва ўқ ҳаракатлари аниқ ва тезкор бошқарилади. Бу эса нафақат энергия сарфини камайтиради, балки оператор ишини енгиллаштиради ҳамда авария ҳолатларини камайтиради. Бундай тизимлар замонавий датчиклар, контроллерлар ва алгоритм асосида бошқаришни амалга оширувчи дастурлар ёрдамида ишлайди.

Экскаваторларнинг электр юритмаларидаги камчиликларни бартараф этиш учун турли ёндашувлар мавжуд. Ўзгармас токли электр юритмаларни модернизация қилиш радикал ечим эмас. Замонавий босқичда частотали бошқарувга эга ўзгарувчан токли электр юритмаларга ўтиш зарурияти яққол кўриниб турибди. Шу билан бирга, Ўзгармас токли электр юритмалар билан ишлайдиган экскаваторларнинг, айниқса, 5 м³ дан 10 м³ гача ҳажмли ковшларга эга бўлган экскаваторларнинг узоқ вақт давомида эксплуатация қилиниши давом этади. Бу экскаваторлар асосан кичик карерларга мўлжалланган бўлиб, бундай корхоналарда экскаватор паркани қисқа вақт ичида янгилаш иқтисодий ва ташкилий жиҳатдан қийин.

Экскаватор электр юритмаларини бошқариш учун оптимал бошқарув тизимлари назариясига асосланган комбинацияланган бошқарув тизимлари самарали деб топилган. Карьер экскаваторларининг электр юритмаларини энергия тежамкорлигини яхшилаш бўйича кўплаб олимлар илмий изланишлар олиб бродан. Карьер экскаваторларининг электр юритмаларининг қўлланилиш туридан келиб чиққан ҳолда ушбу адабиётларни қуйидаги таснифларга бўлиб олишимиз мумкин [16]:

- Генератор-мотор тизимидаги электр юритма;
- Тиристорли тўғирлагич-ўзгармас ток мотори юритмаси;
- Транзисторли тўғирлагич-ўзгармас ток мотори юритмаси;
- Частота ўзгартиргич-асинхрон мотор электр юритмаси.

Тоғ кон шароитида қўлланиладиган экскаваторларнинг самарадорлигини белгилашда энг самарали усуллардан бири бу солиштирма электр энергияси сарфи асосида баҳолаш ҳисобланади. Ушбу жиҳатни эътиборга олган ҳолда карьер шароитида ишлаб турган экскаватор механизмларининг турли бошқарув тизимларида солиштирма электр энергия сарфлари жадвалда таҳлил қилинди.

Жадвал маълумотлари асосида хулоса қилиш мумкинки, экскаватор электр юритмаларининг солиштирма электр энергияси сарфи ковш ҳажмига ва электр юритманинг бошқарув усулига бевосита боғлиқ ҳисобланади. Ушбу маълумотларга таянган ҳолда ҳамда юқоридаги экскаватор унумдорлигига таъсир этувчи факторларни эътиборга олган ҳолда электр юритманинг унумдорлигини янада ошириш имконияти мавжуд бўлади.

Ўзгарувчан токли электр юритмаларни ривожлантириш. Ҳозирда Россияда ва хорижда ўзгарувчан токли экскаватор электр юритмаларини яратиш бўйича фаол ишлар олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда Ключев В.И., Портной Т.З., Миронов Л.М., Постников С.М., Сапелников А.С., Олховиков Б.В., Березин В.В., Полинский М.Б., Дружинин А.В., Бабенко А.Г., Парфенов Б.М. каби олимлар ва бошқа кўплаб мутахассисларнинг ишлари алоҳида эътиборга лойиқ. Шунингдек, АББ ва Сиеменс компаниялари томонидан таклиф этилган ўзгарувчан токли экскаватор электр юритмалари катта қизиқиш уйғотмоқда [17].

ОКМК АЖ “Қолмоқир” кони экскаваторларининг реал шароитдаги руда қазиб
жараёнида солиштирма электр энергияси сарфининг қийматлари

Ковш ҳажми, м ³	Генератор- Мотор тизими	Тиристорли тўғрилагич + Ўзгармас ток мотори	Транзисторли тўғрилагич + Ўзгармас ток мотори	Частота ўзгартиргич + Асинхрон мотор
ЭКГ-8	1.4 – 1.6 кВт·соат/тонна	1.2 – 1.3 кВт·соат/тонна	1.0 – 1.1 кВт·соат/тонна	0.8 – 1.0 кВт·соат/тонна
ЭКГ-12	1.3 – 1.5 кВт·соат/тонна	1.1 – 1.2 кВт·соат/тонна	0.9 – 1.0 кВт·соат/тонна	0.7 – 0.9 кВт·соат/тонна
ЭКГ-15	1.2 – 1.4 кВт·соат/тонна	1.0 – 1.1 кВт·соат/тонна	0.8 – 0.9 кВт·соат/тонна	0.6 – 0.8 кВт·соат/тонна
ЭКГ-20-25	1.1 – 1.3 кВт·соат/тонна	0.9 – 1.0 кВт·соат/тонна	0.7 – 0.8 кВт·соат/тонна	0.5 – 0.7 кВт·соат/тонна

Ўзгармас токли электр юритмаларни такомиллаштириш. Шу билан бирга, замонавий Ўзгармас токли экскаватор электр юритмаларини яратиш долзарб масала бўлиб қолмоқда. Улар, аввало, мавжуд экскаватор паркени модернизация қилиш учун мўлжалланган бўлиб, бунда электр-механик ускуналарнинг максимал даражада сақланиши таъминланади. Шунингдек, бу тизимлар ҳали ҳам ишлаб чиқарилаётган янги Ўзгармас токли машиналарни жиҳозлаш учун ҳам ишлатилиши мумкин.

Республикаимизнинг Олмалиқ кон металлургия комбинати “АЖ”га қарашли “Қолмоқир” конида қўлланилиб келаётган ЭКГ русумидаги экскаваторлар учун реал шароитдаги бир тонна рудани қазиб олиш учун сарфланадиган электр энергиясининг миқдорлари экскаваторларнинг электр юритмаси бошқарув тизимлари бўйича таҳлил қилинди ва қуйидаги жадвалга жамланди.

Шунингдек ЭКГ русумли экскаваторларнинг асосий механизмлари бўйича алоҳида ўлчаш натижасида ҳар бир механизм учун сарфланадиган электр энергияси улуши аниқланди (2-расм).



2-расм. ЭКГ русумли экскаваторнинг асосий қисмлари бўйича электр энергияси тақсимоти

Бизнинг мамлакатимизда экскаватор электр юритмаларининг куч занжирларида айланувчи электромеханик кучайтиргичлардан фойдаланишдан биринчи бўлиб Олмалиқ кон металлургия комбинати воз кечди. Картекс томонидан ишлаб чиқарилган кучли карер экскаватори ЭКГ-15 асосий механизмларининг электр юритмалари ТП-Д тизими асосида бажарилган ва ушбу машиналар бизнинг конларимизда қўлланила бошланди. Айни шу вақтда Россияда "Картекс" бирлашмаси томонидан ишлаб чиқилган тиристорли

кучайтиргичларнинг тўртта модификацияси муваффақиятли саноат синовларидан ўтказилган (КТП-Э туридаги кучайтиргичлар) [16].

Частота ўзгартиргич қурилмаларининг бошқарув қурилмалари учун имплусли фаза бошқарув тизимлари ишлаб чиқилган бўлиб, бу тизимларда турли қийматли ва шаклли имплуслар орқали яримўтказгичнинг очилиш даражаси бошқарилади. Шу билан бирга мотор учун керакли бўлган қийматдаги қувватни ўтказиш имконияти мавжуд бўлади. Бу ҳолатда мураккаблик жиҳат шуки экскаватордаги ўзгарувчан юкламаларни тўғри таҳлил қилиш, ушбу юкламага мос келадиган бошқаув тизимларини моделлаштириш ҳамда энергия тежамкор иш режимлари учун оптимал параметрларни белгилаш ҳозирги вақтга қадар долзарб масалалардан бири бўлиб турибди.

Хулоса сифатида айтиш мумкинки, замонавий карьер экскаваторлари кончилик ва қурилиш соҳаларида энг асосий ишчи механизмлардан бири бўлиб, уларнинг иш самарадорлиги, энергия тежамкорлиги ва хизмат муддати тўғридан-тўғри электр юритма ҳамда бошқарув тизимларининг имкониятларига боғлиқ. Илмий-тадқиқотлар натижалари шундан далолат берадики, экскаваторларда частота ўзгартиргичли асинхрон моторлар, тиристорли генератор-мотор тизимлари, гибрид энергия тиклаш ечимлари ва интеллектуал сенсор комплексларини қўллаш орқали энергия истеъмолини 15–40 фоизгача қисқартириш, бошқарув аниқлигини 30 фоизгача ошириш ва асосий механизмлар хизмат муддатини сезиларли даражада узайтириш мумкин.

Умуман олганда, замонавий бошқарув ва энергия тежаш технологияларини комплекс равишда қўллаш карьер экскаваторларининг ишлашини оптималлаштириш, эксплуатация харажатларини камайтириш ва саноатнинг рақобатбардошлигини оширишда муҳим аҳамият касб этади. Шунингдек, ушбу йўналишдаги илмий-амалий ишланмалар нафақат кончилик соҳасида, балки йирик энергетик ва механизациялашган ишлаб чиқариш тармоқларида ҳам кенг қўлланилиши мумкин. Бундай ёндашувлар мамлакатимизда ресурслардан оқилона фойдаланиш, экологик барқарорликни таъминлаш ва иқтисодий самарадорликка эришиш учун стратегик аҳамиятга эга.

Тегишли адабиётлар, нашр этилган илмий адабиётлар ва республика кон-металлургия комбинати бўлинмаларида ўрганилган илмий-амалий ишларни ўрганиш асосида қуйидаги тадқиқот вазифаларини белгилаб олинди:

- бошқарилувчи электр юритмалар асосида карьер экскаваторларининг энергия ва ресурс тежамкор иш режимларини ишлаб чиқиш;
- бошқариш тизимлари ва электр қурилмаларини модернизациялаш асосида карьер экскаваторларининг самарадорлигини ошириш;
- карьер экскаваторининг бошқариш тизимини ва электромеханик тизимларнинг динамик режимларини математик моделлаштириш;
- энергия самарадорликка таъсир этувчи асосий энергетик, эксплуатацион ва технологик кўрсаткичларни эътиборга олган ҳолда электр энергия истеъмолини аниқловчи математик модел ишлаб чиқиш;
- экскаваторларни эксплуатация қилиш жараёнида энергия самарадорлигини оширишни комплекс баҳолаш методикасини ишлаб чиқиш;
- руда қазиб олишдаги солиштирма электр энергиясини камайтириш мақсадида, руданинг тури, қаттиқлик даражаси ва ортиш механизмларига боғлиқ равишда юритманинг мослашувчан режимларини моделлаштириш;
- карьер экскаваторларида электр энергиясини ҳисоблаш ва тежамкорлик методикаларини ишлаб чиқиш;

- тоғ-кон массасини қазиш жараёнида экскаватор қурилмалари учун электр юритмаларни, частотавий ўзгартиргич ва бошқариш қонунларини танлаш алгоритмини ишлаб чиқиш;

- дастурий усулларга асосланган частота ўзгартиргичи ёрдамида бошқариш алгоритмини ишлаб чиқиш, ҳамда ушбу алгоритм воситасида карьер экскаваторларнинг иш режимига мос оптимал ишлаш параметрларини таъминлаш.

Ишлаб чиқиладиган энергия ва ресурс тежамкор режим руда қазиш ҳамда юклаш жараёнларидаги сарф-харажатларни камайтириш, энергия ресурсларини тежаш ва меҳнат унумдорлигини ошириш масалаларини ҳал этишга хизмат қилади. Бу эса карьер экскаваторларининг электр жиҳозларидан самарали фойдаланиш имконини беради.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Фашиленко В.Н., Плащанский Л.А. Электропривод и автоматика машин и установок горного производства. М., 2020. – 371 с.
2. Квагинидзе В.С., Антонов Ю.А., Корецкий В.Б., Чупейкина Х.Х. Экскаваторы на карьерах: конструкция, эксплуатация, расчет. М., 2009.– 400с.
3. Малафеев С.И., Коняшин В.И., Новгородов А.А. Экскаватор ЭКГ-20: новое техническое решение мехатронного комплекса // «Уголь». М., 2019.
4. Шойимов Й.Ю., Комилов Ф.Ш., Турдибаев Ш.Б., Урумбаев Ф.Д. Требования, предъявляемые к электроприводам и электрооборудованию одноковшовых экскаваторов. <https://cyberleninka.ru/article/n/trebovaniya-predyavlyaemye-k-elektroprivodam-i-elektrooborudovaniyu-odnokovshovyh-ekskavatorov>.
5. Kononenko K.A., Shragin A.G. Моделирование динамики работы одноковшового экскаватора при различных режимах загрузки // Вестник ТГАСУ. 2013. №1.
6. Малафеев С.И., Серебренников Н.А. Повышение энергетической эффективности карьерных экскаваторов на основе модернизации электрооборудования и систем управления.– <https://cyberleninka.ru/article/n/povyshenie-energeticheskoy-effektivnosti-kariernyh-ekskavatorov-na-osnove-modernizatsii-elektrooborudovaniya-i-sistem-upravleniya>.
7. Малафеев С.И., Новгородов А.А. Электрооборудование и системы управления для горных машин нового поколения: технические решения компании // Объединенная энергия. М., 2011.
8. Kamalov A., Toirov D. Karer ekskavatorlarining industriyada energiya samaradorligini aniqlash metodikasi // Sanoat energetikasi va mexatronika. Toshkent: TDTU, 2021. №3. 58–63 б.
9. Nguyen T., Do H., Ahn J. Innovative Hybrid Electro-Dynamic Powertrain Architecture for Excavators // Journal of Advanced Power Systems. Vol. 37. Seoul: KAST, 2022. №2. P. 120–129.
10. Li X., Zhang Y., Zhou M., et al. Electro-Hydraulic Control and Energy Recovery System in Excavators // IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 70. 2023. №6. P. 5104–5115.
11. Journal of Mechatronics & AI. Gidravlik ekskavatorlarning energiya tejash imkoniyatlarini tahlili // Journal of Mechatronics & AI. Vol. 18. Tokyo: JMAI Press, 2022. №4. P. 210–218.

12. Aliev R., Abdurazzokov I. Ekskavatorning kinetik-geometrik parametrlari va qazish jarayonida sarflanadigan energiya // O‘zbekiston texnika ilmiy-texnik jurnali. Toshkent: O‘TITU, 2021. №2(14). 41–48 б.
13. Energy Conversion & Management. Energy Management Strategy for Hybrid Hydraulic Excavator // Elsevier. Vol. 254. 2022. Article ID: 115257.
14. Industrial Automation (AIP). Ekskavator resurslarini samarali ishlatish metodikasi // AIP Industrial Automation Journal. Vol. 42, 2023. №3. P. 90–96.
15. Бессонов В.Г. Разработка и исследование электропривода поворота одноковшового экскаватора по системе «транзисторный непосредственный преобразователь частоты – асинхронный двигатель». М., 2013.
16. Инструкция по эксплуатации низковольтных комплектных устройств // Рудоавтоматизация. 591.0.000.000 – 10 рэ, 2004.

Тошкент давлат техника университетининг
Олмалик филиали

18.04.2025
қабул қилинган

УДК 62-50:681.518:621.311

А.А. КАДЫРОВ

К СОЗДАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ И РЕМОНТАМИ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В статье рассматриваются подходы к разработке автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтами (ТОиР) оборудования электростанций. Показаны ключевые предпосылки к созданию АСУ ТОиР энергетического оборудования. Дано описание основных принципов построения подобного рода систем, а также различных классов систем для автоматизированного управления и ремонтов оборудования. Рассмотрены функции АСУ ТОиР энергетического предприятия, подсистемы АСУ ТОиР и комплекс основных задач.

Ключевые слова: электростанция, энергетическое оборудование, автоматизированная система управления техническим обслуживанием и ремонтами.

А.А. Кадыров

Электр станциялари жиҳозларини техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш бўйича автоматлаштирилган бошқарув тизимини яратиш ҳақида

Мақолада электр станция жиҳозларига техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш (ТХК ва Т) жараёнларини автоматлаштирилган бошқарув тизимини ишлаб чиқишга ёндашувлар кўриб чиқилган. Энергетик жиҳозлар учун АБТ ТХК ва Т яратишнинг асосий шароитлари кўрсатилган. Бундай турдаги тизимларни куришнинг асосий тамойиллари, шунингдек, жиҳозларни автоматлаштирилган бошқариш ва таъмирлаш тизимларининг турлари баён этилган. Энергетика корхонасида АБТ ТХК ва Т функциялари, унинг нимтизимлари ҳамда асосий вазифалар мажмуаси кўриб чиқилган.

Калит сўзлар: электр станция, энергетик жиҳозлар, техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлашнинг автоматлаштирилган бошқарув тизими.

Towards the development of an automated maintenance and repair management system for power plant equipment

The article explores approaches to developing an automated maintenance and repair management system (MRO) for power plant equipment. It highlights the key prerequisites for establishing such a system for energy infrastructure. The fundamental principles of designing these systems are described, along with various classes of systems intended for automated maintenance and repair processes. The paper also examines the functions of the MRO system within an energy enterprise, including its subsystems and the set of core tasks it is designed to perform.

Keywords: power plant, power equipment, automated maintenance and repair management system.

АСУ ТОиР (Автоматизированная система управления техническим обслуживанием и ремонтами) на электростанциях — это ключевой элемент цифровой трансформации энергетических объектов, обеспечивающий надежную и экономически эффективную эксплуатацию оборудования [1 – 7].

Основные предпосылки к созданию АСУ ТОиР энергетического оборудования. Основные предпосылки можно подразделить на три вида: технические; экономические; организационно - управленческие.

1. Технические предпосылки

- *Сложность оборудования.* Основные узлы энергоблока ТЭС включают: котельное оборудование (парогенератор); паротурбинную установку (ПТУ); генератор; конденсационную систему; систему водоподготовки и химводоочистки (ХВО); систему теплоснабжения (если ТЭЦ); электротехническое оборудование; систему автоматизации и контроля (АСУ ТП); вспомогательные системы. В состав узлов ГЭС входят: водохранилище, плотина, водосброс (водоотводное сооружение), водоприемник, напорные водоводы, турбинный отсек (турбинный зал), гидротурбина, генератор, возбудитель, силовой трансформатор, открытое распределительное устройство (ОРУ), линии электропередач (ЛЭП), здание ГЭС, системы автоматизации и управления. Значительная часть этого оборудования может иметь высокую степень износа, что увеличивает риски аварий и требует тщательного планирования и контроля ремонтных работ.

- *Необходимость обеспечения надежности и безопасности энергоснабжения.* Отказы оборудования могут привести к серьезным последствиям, включая сбои в энергоснабжении, экономические потери и угрозу безопасности. В их числе можно назвать некоторые следующие аварии и инциденты, происходившие в последние годы на ТЭС:

- аварии на Тахиаташской ТЭС (июнь 2019 г., апрель 2021 г.);
- взрыв на Ново-Ангренской ТЭС (январь 2021 г.);
- инцидент на Сырдарьинской ТЭС и общенациональный блэкаут (январь 2022 г.);
- инциденты на Ангренской ТЭС (март 2020 г., ноябрь 2022 г.);
- авария на линии электропередачи (февраль 2024 г.).

Пример из сферы ГЭС. Авария на одной из крупнейших в мире Саяно-Шушенской ГЭС – промышленная техногенная катастрофа, произошедшая 17 августа 2009 г. В результате аварии погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесён серьёзный многомиллиардный ущерб. В результате проведенного расследования “Ростехнадзор” непосредственной причиной аварии назвал разрушение шпилек крепления крышки турбины гидроагрегата. Анализ НИИМаша шпилек крепления крышки турбины длиной 255 миллиметров показал,

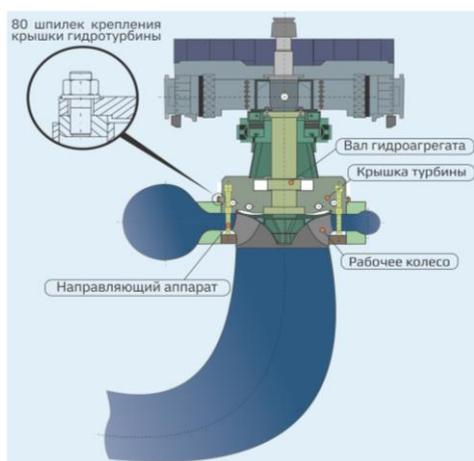
что у 90% этих шпилек усталостные трещины. На шести из них вообще не было гаек (рис.1) [1].

АСУ ТОиР позволяет перейти от реактивного (по факту поломки) к следующему проактивному и предиктивному техническому обслуживанию, минимизируя риски:

- Рост объемов информации об оборудовании и ремонтах. Ручное ведение этой информации становится неэффективным и затрудняет анализ. АСУ ТОиР обеспечивает централизованное хранение и обработку данных.

- Потребность в унификации и стандартизации ремонтных процессов. Внедрение АСУ ТОиР способствует унификации технологических карт, норм расхода материалов и трудозатрат, что повышает эффективность и прозрачность работ.

Развитие систем мониторинга и диагностики. Современное энергетическое оборудование оснащается множеством датчиков и систем диагностики АСУ ТОиР, что позволяет интегрировать данные с этих систем для оценки фактического технического состояния оборудования и принятия обоснованных решений о необходимости проведения ремонтов (ТОиР по фактическому состоянию).



Саяно-Шушенская ГЭС после аварии



Шпильки - причина страшнейшей аварии

Рис. 1. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС

2. Экономические предпосылки

- *Необходимость снижения затрат на ТОиР.* Затраты на ремонт энергетического оборудования могут составлять существенную часть общих расходов на производство электроэнергии (до 10-15%). АСУ ТОиР обеспечивают сокращение затрат.

На уровень затрат на ТОиР энергоблоков влияют следующие факторы:

Категория	Пояснение
Тип электростанции	На ТЭС затраты на ТОиР обычно выше, чем на ГЭС (из-за топочного и паротурбинного оборудования).
Возраст	Чем старше энергоблок, тем выше затраты на ТОиР:

Категория	Пояснение
оборудования	достигают 15% от общих расходов.
Уровень автоматизации	При внедрении АСУ ТОиР и предиктивной диагностики возможно снижение затрат на 15–30%.
Профиль ремонта	Капитальные ремонты (КР) энергоблоков могут занимать 40–60% от всех расходов на ТОиР.
Режим работы станции	Частые пуски-остановы повышают износ оборудования и затраты на ТОиР.

- *Необходимость увеличения межремонтных интервалов и срока службы оборудования.* Переход к планово-предупредительным и предиктивным ремонтам позволяет своевременно выявлять и устранять потенциальные неисправности, предотвращая серьезные поломки и продлевая срок службы дорогостоящего оборудования.

- *Повышение эффективности использования ресурсов.* АСУ ТОиР обеспечивает точное планирование потребности в материалах, запасных частях и трудовых ресурсах для проведения ремонтных работ, исключая их дефицит или переизбыток.

- *Оптимизация управления складскими запасами.* Система позволяет вести актуальный учет наличия запасных частей и материалов на складах, контролировать их движение и планировать закупки на основе реальной потребности.

3. Организационно - управленческие предпосылки

- *Отсутствие единого информационного пространства.* АСУ ТОиР создает единую информационную среду для всех участников процесса.

- *Сложности в планировании и диспетчеризации работ.* АСУ ТОиР автоматизирует процессы планирования, формирования графиков работ и диспетчеризации.

- *Недостаточный контроль за ходом и качеством выполнения работ.* АСУ ТОиР обеспечивает фиксацию факта выполнения работ, их объемов и использованных ресурсов.

- *Сложности в формировании отчетности и анализе данных.* АСУ ТОиР предоставляет широкие возможности для автоматического формирования отчетов и проведения аналитики.

- *Территориальная распределенность объектов.* Энергетические предприятия часто имеют территориально распределенную инфраструктуру, что усложняет управление ТОиР. АСУ ТОиР с возможностью использования мобильных решений позволяет обеспечить оперативный сбор данных с удаленных объектов и координацию выездных бригад.

Схему взаимодействия существующей системы технического обслуживания и ремонтов энергетического оборудования (возможно с частичным использованием компьютеров для фрагментированных расчетов) – **СТОиР**, автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтами – **АСУ ТОиР** и энергетическим оборудованием можно представить в виде, приведенном на рис.2.

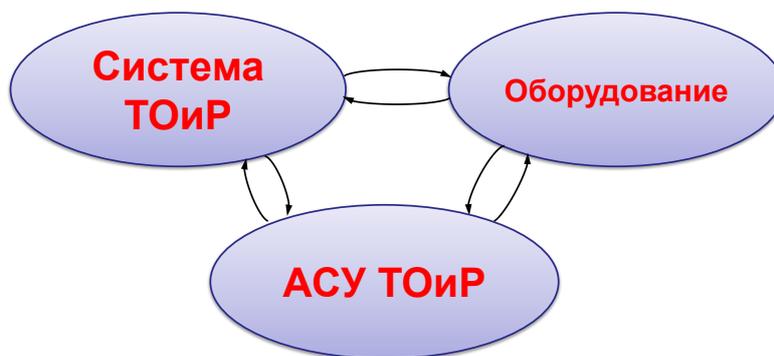


Рис. 2. Схема взаимодействия АСУ ТОиР, СТОиР и оборудования

Для автоматизированного управления и ремонтов оборудования существуют различные классы систем. Остановимся на их кратком описании.

1. **Системы ЕАМ** (Enterprise Asset Management – управление активами предприятий). Это специализированные системы, которые позволяют автоматизировать как весь процесс ТОиР, так и обеспечивающие его процессы (снабжение, управление ремонтным персоналом, финансы).

2. **Системы CMMS** (Computerized Maintenance Management System – компьютерные системы управления ТОиР). Это сравнительно простые информационные системы, направленные на управление только процессами ТОиР и практически не позволяющие полноценно автоматизировать обеспечивающие его процессы.

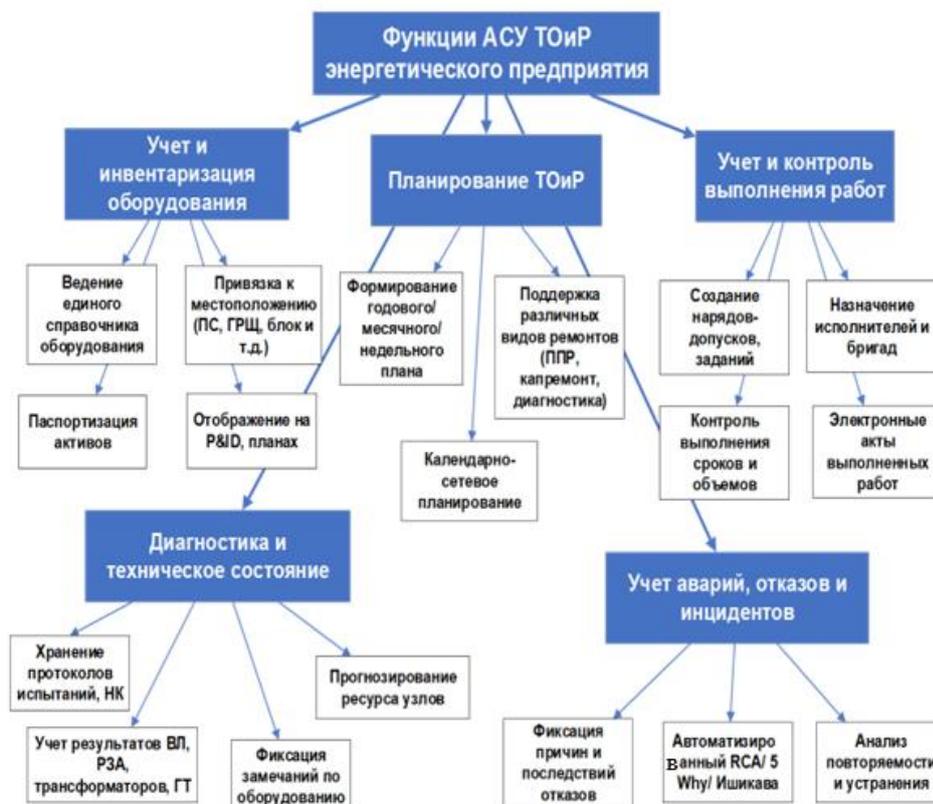


Рис. 3. Функции АСУ ТОиР. Часть 1

3. Модули ТОиР ERP систем (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия). Это отдельные модули в ERP пакетах, интегрированные с основной системой. Основное преимущество – интеграция со всеми остальными модулями. Обладают, как правило, ограниченной функциональностью в части управления ТОиР.

CMMS – системы отличаются узкой специализацией и недостаточной функциональностью для средних и крупных предприятий.

Анализ опыта внедрения ERP-систем для управления техническим обслуживанием и ремонтами на российских предприятиях показывает довольно безрадостную картину. Распространенный вариант развития событий: системой управления ТОиР довольны экономисты, бухгалтеры, т.е. все за исключением специалистов, непосредственно занятых в ТОиР.

Функции АСУ ТОиР энергетического предприятия, подсистемы АСУ ТОиР и комплекс основных задач представлены на рис.3,4.

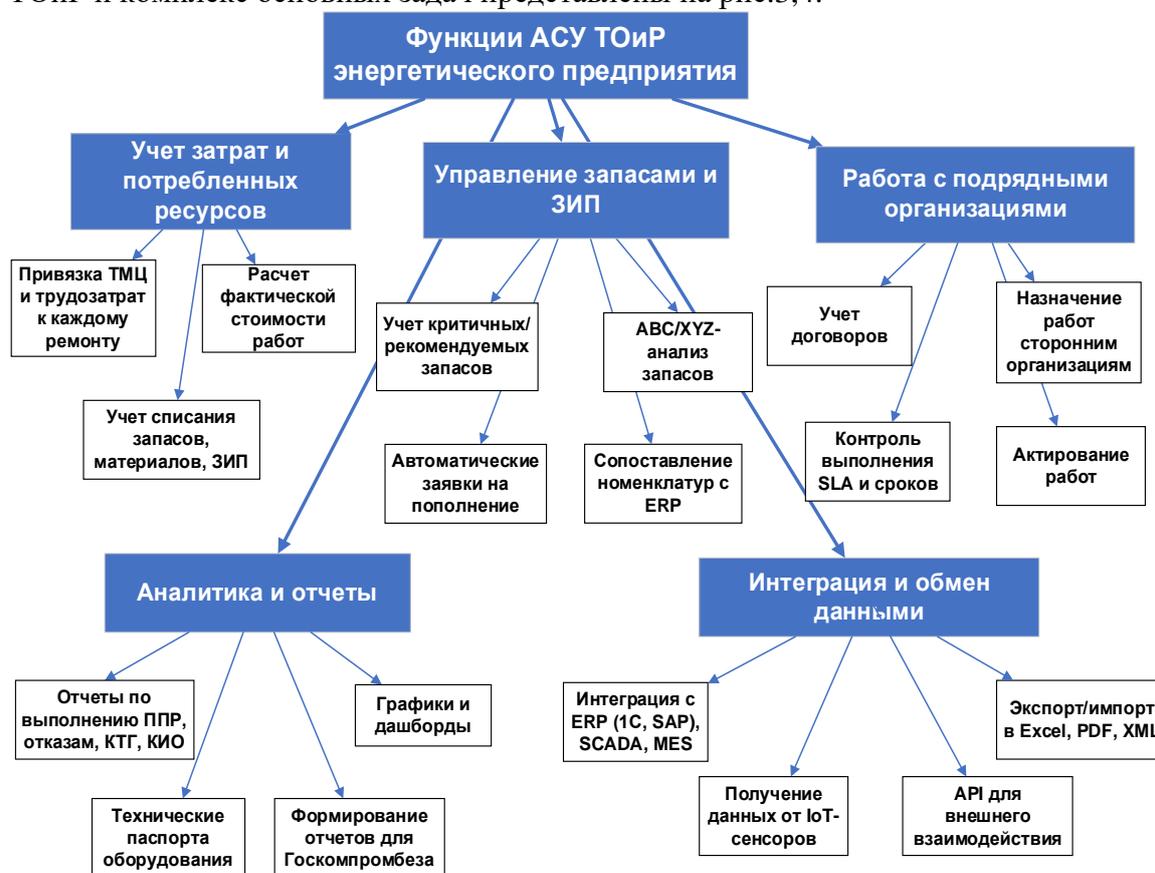


Рис. 4. Функции АСУ ТОиР. Часть 2

Макроструктура обеспечений современной автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования представлена на рис.5.

Наиболее оптимальным классом систем, отвечающим потребностям средних и крупных предприятий, являются EAM-системы. Приведем данные исследований зарубежных консалтинговых групп, посвященные этому классу систем. Так, согласно исследованиям консалтинговой группы А.Т. Kearney, изученные случаи внедрения EAM-систем характеризовались получением, в среднем, следующих выгод:

Повышение производительности работ по ТОиР	29%
Повышение коэффициента готовности	17%
Сокращение складских запасов	21%
Уменьшение случаев нехватки запасов	29%
Увеличение доли плановых ремонтов	78%
Сокращение аварийных работ	31%
Сокращение сверхурочных работ	22%
Сокращение времени ожидания запчастей	29%
Сокращение срочных закупок ТМЦ	29%
Более выгодные цены накупаемые ТМЦ	18%

Так, согласно ARC Advisory Group, более 90% респондентов отмечают следующие выгоды, полученные их предприятиями от внедрения систем управления основными фондами (EAM):



Рис. 5. Макроструктура обеспечений интегрированной АСУ ТОиР



Рис. 6. Структура научного обеспечения интегрированной АСУ ТОиР

В зависимости от функциональных требований и наличия научного обеспечения для реализации автоматизированные системы управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования подразделяются на интегрированный и стандартные АСУ ТОиР. Стандартным АСУ ТОиР отвечает часть макроструктуры без блока «Научное обеспечение». Научное обеспечение интегрированной АСУ ТОиР должно содержать три компонента (рис.6). Первая компонента базируется на использовании технологий индустрии 4.0/5.0, математических методах моделирования и оптимизации. Вторая компонента базируется на результатах системного анализа факторов, влияющих на выработку электроэнергии. Третья часть научного обеспечения интегрированных АСУ ТОиР энергетического оборудования должна формироваться с учетом проблемы износа узлов и деталей.

В заключение отметим: современные интегрированные АСУ ТОиР могут значительно повысить надежность и безопасность энергетического оборудования, оптимизировать затраты на техническое обслуживание и ремонты.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Причины техногенной катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС/ <http://www.contrtv.ru/print/3303/>.
2. Кадыров А. А. Математическое моделирование сложных технических объектов // Научно-технический и производственный журнал «Горный вестник Узбекистана». Навои., 2004. № 17. С.68 – 72.
3. Кадыров А.А., Хасанов А.М., Кан Л.Т. Автоматизированная система управления техническим обслуживанием и ремонтами электрооборудования комбината // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Инновация-2009». Т.: «Yangi asr avlodi», 2009. С.26 – 29.
4. Кадыров А.А., Султанбаев Дж.А., Саиджанов Р.К. Разработка нормативно-справочной подсистемы автоматизированной системы «АСУ-Электро» // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Инновация-2009». Т.: «Yangi asr avlodi», 2009. С.282 – 284.

5. Кадыров А.А., Султанбаев Дж.А., Саиджанов Р.К. Разработка подсистемы «Электрооборудование» автоматизированной системы «АСУ-Электро» // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Инновация-2009». Т.: «Yangi asr avlodi», 2009. С.284 – 285.
6. Кадыров А.А. Автоматизация процессов управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования. Т.: «Fan va texnologiya», 2017.– 256с.
7. Кадыров А.А. Использование искусственного интеллекта для решения задач автоматизированных систем управления техническим обслуживанием и ремонтами горного оборудования // Международная научно-практическая конференция «Инновация-2024». Т.: «Инновацион ривожланиш нашриёт-матбаа уйи», 2024. С.10–24.

Институт проблем энергетики АН РУз

Дата поступления
18.04.2025

УЎК 621.3.072.86

О.Х. ИШНАЗАРОВ, А.А. ШАВАЗОВ, Х.М. ЭШҚЎЗИЕВ, А.О. ХАМДАМОВ

ЭЛЕКТРОМЕХАНИК ТИЗИМЛАРДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИ САРФ МЕЪЁРЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ МЕТОДОЛОГИЯСИ

Мақолада электромеханик тизимларида электр энергиядан оқилона фойдаланиш мақсадида электр энергияси сарф меъёрларини ечиш усуллари қараб чиқилган. Электромеханик тизимлари электр юритмаларини ростлашда электр энергиясининг солиштирма сарф меъёрлари таснифланган. Сарф меъёрларини ҳисоблаш методологияси суғориш тизимида мавжуд сув чиқариш мажмуаларининг оптималлаштириш ва бошқаришни бирлаштирган интеграл методологиясини асосида ишлаб чиқилган. Электр энергиянинг сарф меъёрини ҳисоблашда сув чиқариш жадвали, насос ва электр двигатель типлари, босимли узатувчи қувурнинг жамланмаси, узатувчи қувурнинг таркиби ва узунлиги, сув чиқаришда геометрик баландлик ва насос агрегатлари ҳақида бошланғич маълумотлар келтирилган.

Калит сўзлар: электромеханик тизим, насос агрегати, сув, босимли сув узатувчи қувур, қудуқ, электр юритма, энергетик самарадорлик, ФИК, қувват, частота, таъминловчи тармоқ.

О.Х. Ишназаров, А.А. Шавазов, Х.М. Эшқузиёв, А.О. Хамдамов

Методология расчёта норм расхода электроэнергии в электромеханических системах

В статье рассматриваются методы решения норм расхода электроэнергии с целью рационального использования электроэнергии в электромеханических системах. Классифицированы удельные нормы расхода электроэнергии при регулировании электроприводов электромеханических систем. Методология расчёта норм расхода разработана на основе интегральной методологии, объединяющей оптимизацию и управление существующими водозаборными комплексами в оросительной системе. При расчёте нормы расхода электроэнергии приведены исходные данные о графике водоподачи, типах насосов и электродвигателей, комплекте напорных трубопроводов, составе и длине трубопроводов, геометрической высоте водоподъёма и насосных агрегатах.

Ключевые слова: электромеханическая система, насосный агрегат, вода, напорный водопровод, скважина, электропривод, энергетическая эффективность, КПД, мощность, частота, питающая сеть.

Methodology for calculating electrical energy consumption standards in electromechanical systems

The article examines methods for determining electricity consumption standards to ensure rational use of electrical energy in electromechanical systems. Specific electricity consumption rates for regulating electric drives in electromechanical systems are classified. The methodology for calculating consumption rates was developed based on an integrated approach that combines optimization and management of existing water extraction complexes in irrigation systems. When calculating electricity consumption rates, initial data is provided on the water discharge schedule, types of pumps and electric motors, the assembly of pressure pipelines, the composition and length of the pipeline, the geometric height of water discharge, and pump units.

Keywords: electromechanical system, pump unit, water, pressure water pipeline, well, electric drive, energy efficiency, efficiency, power, frequency, supply network.

Электромеханик тизимларида электр энергиядан оқилона фойдаланиш мақсадида энергия самарадорлигини ошириш, янги технологик ечимларни яратиш ва такомиллаштириш ҳамда жорий этишга доир кенг кўламли чора-тадбирлар амалга оширилмоқда. Электромеханик тизимларида жумладан насос станцияларда минимал электр энергияси харажатларини таъминлайдиган оптималлаштириш режимини яратиш, суғориш тизимида мавжуд сув чиқариш мажмуаларининг оптималлаштириш ва бошқаришни бирлаштирган интеграл методологиясини ишлаб чиқишга алоҳида эътибор қаратилмоқда. Ушбу йўналишда жумладан, энергетик самарадорликни ошириш нафақат электр энергиясини тежаш, балки насослардан узоқ муддатли фойдаланиш шунингдек, самарадорликни ошириш сувдан фойдаланиш самарадорлигини ҳам ошириш, бу эса, ўз навбатида, сув заҳираларини сақлаш ва экологик барқарорликка хизмат қилади.

Сув истеъмоли жадвалига биноан талаб қилинган сув кўтариш ҳажмини амалга ошириш учун, электр энергия сарф меъёрини асослашда техник ва иқтисодий қўллашни таъминлаш - электр энергиясини меъёрлаш масаласи насос станциясида насос агрегатларини частотавий ростланувчи электр юритмалар ҳисобига бошқариш мувофикдир [1].

насос агрегатларининг электр юритмаларини частотавий ростлашда электр энергиясининг солиштирма сарф меъёрлари қуйидаги асосий хусусиятлар бўйича таснифланади, яъни [1,2]:

Агрегат даражаси бўйича – индивидуал ва гуруҳлар бўйича таснифлаш (қўллаш масштаби);

харажатлар таркиби бўйича – технологик ва умумий ишлаб чиқариш бўйича таснифлаш;

ишлаш вақти бўйича – йиллик ва чораклик бўйича таснифлаш.

Суғориш насос станцияларида юқорида келтирилганларни ҳисобга олган ҳолда сарф меъёр кўрсаткичларни қуйидагича шакллантириш мумкин [2].

Индивидуал сарф меъёр – бу босимли узатувчи қувурнинг асосий конструктив қомановкасини ҳисобга олган ҳолда насос агрегати томонидан кўтариб берилган суғориш суви ҳажми учун электр энергияси сарф меъёри ўрнатилади [1,2,3].

Технологик сарф меъёр – бу сув таъминотида асосий ва ёрдамчи технологик жараёнларда уларнинг харажатларни ҳисоблашдаги электр энергияси сарф меъёри.

Асосий қисм. Электромеханик тизимларида жумладан насос қурилмаларида сувни баландликка кўтариш учун электр энергиясининг сарф меъёри қуйида келтирилган формула бўйича аниқланади:

$$\Delta \varepsilon_{\text{HAI}}^{\text{и}} = \frac{2725 \text{ кВт} \cdot \text{соат}}{\eta_{\text{наси}} \eta_{\text{двi}} \text{ МИНГ} \cdot \text{м}^3} \cdot \frac{1}{\text{м}}, \quad (1)$$

бу ерда $\eta_{\text{наси}}$ – насоснинг ФИК; $\eta_{\text{двi}}$ – юритма электр двигателининг ФИК.

Насос ФИК нинг жорий қиймати, унинг ишчи органларининг кавитацион-абразив емирилишини ҳисобга олган ҳолда, пастда келтирилган ифодадан аниқланади [3]:

$$\eta_{\text{наси}} = \kappa_{\text{емир}} \eta_{\text{хисобийi}}, \quad (2)$$

бу ерда $\kappa_{\text{емир}}$ – емирилиш коэффициенти

$$\kappa_{\text{емир}} = e^{-8.33 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{пр}}}, \quad (3)$$

бу ерда $T_{\text{пр}}$ – насоснинг охирги таъмирлашдан кейинги ишлаши, соат.

Насос ФИК нинг ҳисобланган қиймати пастда келтирилган формула бўйича аниқланади:

$$\eta_{\text{хисобийi}} = \frac{\gamma}{1000} \cdot \frac{9.81 \cdot Q_{\text{наси}} H_{\text{наси}}}{\kappa_D^5 \kappa_{\text{П}}^3 V_{\text{к}} Q_{\text{наси}}^{\alpha_{\text{к}}}}, \quad (4)$$

$$\kappa_D = \frac{D_{\text{р}}}{D_{\text{рк}}}, \quad \kappa_{\text{П}} = \frac{n_{\text{ДВ}}}{n_{\text{к}}},$$

бу ерда $V_{\text{к}}$, $\alpha_{\text{к}}$ – насоснинг ушбу маркаси учун доимий коэффициентлар (мазкур насоснинг паспорт маълумотлари ёки мазкур насоснинг маркасига мос маълумотнома бўйича аниқланади).

Кўриб чиқилган t_i вақт оралиғида N -босимли узатувчи қувурда биргаликда ишлайдиган насосларнинг сувни кўтариб бериши пастда келтирилган формула билан аниқланади [4]:

$$Q_{Ni}^{mp} = \kappa_{CN} \sqrt{\frac{a_{\phi} - H_{\Gamma i}}{V_{\phi} + R_N}}. \quad (5)$$

Қувурларнинг ўтказувчанлик қобилияти (κ_{CN}) ўзгаришининг уларнинг ишлаш муддатига боғлиқлиги пастда келтирилган ифода бўйича аниқланади [5]:

$$\kappa_{CN} = 1 - 0.01 \lambda \tau_N^m, \quad (6)$$

$$a_{\phi} = \kappa_D^2 \kappa_{\text{П}}^2 a_{\text{к}}, \quad V_{\phi} = \frac{V_{\text{к}}}{\kappa_D^4 \kappa_{\text{HAI}}^2},$$

бу ерда $a_{\text{к}}$, $V_{\text{к}}$ – насоснинг ушбу тури учун доимий коэффициентлар (мазкур насоснинг паспорт маълумотлари ёки мазкур насоснинг турига мос маълумотнома бўйича аниқланади); κ_{HAI} – қаралаётган вақт оралиғида N -умумий босим қувуридаги биргаликда ишлайдиган насослар сони; N – тармоқдаги сўрувчи ва босим қувурларининг тўлиқ гидравлик қаршилиги пастда келтирилган ифодадан аниқланади:

$$R_N = \kappa_M \kappa_{\text{попр}} A_{\text{меъёр}} l_{mpN}, \quad (7)$$

бу ерда κ_M – турли туман кескин қарама қаршилиқларда давление исрофларини ҳисобга олувчи коэффициент; $A_{\text{меъёр}}$ – қувурнинг ички диаметри ўлчовига боғлиқ бўлган босим қувурларининг солиштирма қаршилиги, $\text{с}^2/\text{м}^6$; босимли узатувчи қувурларнинг солиштирма қаршилигини ҳисобли қиймати $A_{\text{меъёр}}$:

$v=1$ м/сга тенг бўлганда қувурларнинг ички диаметрига боғлиқ равишда улар тайёрланган материалларнинг турли хиллари учун пастда келтирилган аниқланади:

пўлат қувурлар учун

$$A_{\text{сарф}} = \frac{0.001478}{\left(\frac{d_{mp}}{1000}\right)^5 5.226},$$

чўян қувурлар учун

$$A_{сарф} = \frac{0.001679}{\left(\frac{d_{mp}}{1000}\right) 5.226},$$

асбест қувурлар учун

$$A_{сарф} = \frac{0.001212}{\left(\frac{d_{mp}}{1000}\right) 5.19},$$

бу ерда l_{mpN} – босимли узатувчи қувурининг N-линияси узунлиги, м.

Индивидуал босимли узатувчи қувур линиясида ишлашда ҳам, t_i вақт оралиғида умумий қувур линиясида биргаликда (параллел равишда) ишлашда ҳам насоснинг узатиши пастда келтирилган формула бўйича ҳисобланади [6,7]:

$$Q_{наси} = \kappa_D^2 \sqrt{\frac{a_\phi - H_{Ni}^{mp}}{B_\kappa}}. \quad (8)$$

Босимли узатувчи қувурининг ҳар бир N - линияси насоси учун талаб қилинаётган босимининг қиймати пастда келтирилган формула билан аниқланади:

$$H_{Ni}^{mp} = a_\phi(1 - F_N) + F_N H_{\Gamma i}, \quad (9)$$

$$F_N = \frac{B_\phi}{B_\phi + R_N} \kappa_{CN}^2.$$

Насос томонидан t_i иш вақти оралиғида ишлаб чиқилган босим ва қувват пастда келтирилган ифодалар бўйича ҳисобланади [7]:

$$H_{наси} = \kappa_D^2 \kappa_{\Pi}^2 a_\kappa - \frac{B_\kappa}{\kappa_D^4} Q_{наси}^2, \quad (10)$$

$$N_{наси} = \frac{\gamma \kappa_D^5 \kappa_{\Pi}^3}{1000} \cdot B_\kappa Q_{наси}^{\alpha \kappa}, \quad (11)$$

бу ерда γ – насос ёрдамида узатиладиган сувнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Юкланишни ҳисобга олган ҳолда насосни юритма электромеханик тизимининг ФИК пастда келтирилган формула билан аниқланади [7]:

$$\eta_{двi} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_{ддвном}} - 1\right) \frac{\left(\kappa_{zi} + \frac{a_{иср}}{\kappa_{zi}}\right)}{(1 + a_{иср})}}$$

бу ерда $\eta_{двном}$ – электромеханик тизимининг ФИК номинал қиймати; $a_{иср\phi}$ – йўқотиш коэффициентини.

Ўзгарувчан ток электромеханик тизимларининг йўқотиш коэффициентининг қийматлари [7,8].

Жуда катта машаққатлар билан қараб ўрганиб таҳлил қилинган ҳолда t_i вақт оралиғида суғориш сувини юқорига кўтариш мажмуаси электромеханик тизимининг оғирланш коэффициентини пастда келтирилган формула бўйича ҳисобланади:

$$\kappa_{zi} = \frac{1}{\kappa_{ем} \kappa_{t0}} \cdot \frac{N_{наси}}{N_{ном}}, \quad (12)$$

бу ерда $N_{ном}$ – суғориш сувини юқорига чиқариш мажмуаси электромеханик тизимининг номинал қуввати, кВт; κ_{t0} – атроф-муҳит ҳароратига қараб электромеханик тизимининг номинал қувват ўзгаришини ҳисобга оладиган коэффициент.

$$\kappa_{t0} = 1.24 - 0.000196 \cdot t_0^2, \quad (13)$$

бу ерда t_0 – атроф-мухит ҳарорати Цельсий градусларида.

Сувни юқорига кўтариш мажмуаси томонидан t_i иш вақти оралиғи учун узатиладиган сув ҳажми пастда келтирилган формула бўйича аниқланади [9]:

$$W_{H_{Ai}} = 0.0036 \cdot Q_{H_{Aci}} \cdot t_i. \quad (14)$$

Суғориш сувини юқорига кўтариш мажмуаси беминнат узатилган кўллари асосида юқорига чиқариладиган сувини ҳар бир суғориш сувини юқорига чиқариш мажмуаларидан тарафидан сув тепалигининг баландлигига кўтариш учун электр энергиясининг гуруҳ меъёри, унда N -умумий босим қувурига биргаликда ишлаш учун бир гуруҳ насос агрегатлари бирлаштирилган бўлади, пастда келтирилган формула бўйича аниқланади:

$$\Delta \mathcal{E}_i^{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{K_{H_{AN}i}} (\Delta \mathcal{E}_{H_{Ai}} Q_{H_{Aci}} H_{H_{Aci}}) t_i}{\sum_{i=1}^{K_{H_{AN}i}} (Q_{H_{Aci}} H_{H_{Aci}}) t_i}. \quad (15)$$

Сувни бир метр баландлигига кўтариш учун электр энергиясини сарфининг гуруҳ меъёри ҳар бир алоҳида насос қурилмалари учун куйида келтирилган нисбатдан аниқланади:

$$\Delta \mathcal{E}_{H_{C}}^{rp} = \frac{\sum_{i=1}^j (\Delta \mathcal{E}_i^{cp} W_i H_i^{cp})}{\sum_{i=1}^j (W_i H_i^{cp})}, \quad (16)$$

бу ерда W_i – кўриб чиқилаётган ҳар бир t_i , режими учун суви кўтариш механизми томонидан узатиладиган суви ҳажми, минг.м³; H_i^{cp} – бу кўриб чиқилган t_i , вақт давомида бутун сув кўтариш механизмида ишлайдиган насослар томонидан ишлаб чиқилган босимнинг ўртача қиймати, м.уст.; j – бу кўриб чиқилаётган вақт давомида ишлайдиган насос агрегатлари орқали сув етказиб бериладиган босим қувурларининг умумий сони.

Сув кўтариш механизмининг t_i исталган вақтда узатиши пастда келтирилган йиғинди сифатида аниқланади [10]

$$Q_{H_{Ci}} = Q_{1i}^{mp} + Q_{2i}^{mp} + \dots + Q_{ji}^{mp}. \quad (17)$$

Насос қурилмаси томонидан t_i вақт давомида узатиладиган сув ҳажми пастда келтирилган қийматга тенг бўлади:

$$W_i = 0.0036 \cdot Q_{H_{Ci}} t_i. \quad (18)$$

Жуда катта машаққатлар билан қараб ўрганиб таҳлил қилинган ҳолда вақт давомида бутун сув кўтариш механизмида ишлайдиган насослар томонидан ишлаб чиқилган босимнинг ўртача қиймати пастда келтирилган аниқланади:

$$H_i^{cp} = \frac{Q_{1i}^{mp} H_{1i}^{mp} + Q_{2i}^{mp} H_{2i}^{mp} + \dots + Q_{ji}^{mp} H_{ji}^{mp}}{Q_{1i}^{mp} + Q_{2i}^{mp} + \dots + Q_{ji}^{mp}}. \quad (19)$$

Насос қурилмаси томонидан сув устунининг бир метр баландлигига бир минг.м³ узатиладиган сув учун электр энергияси сарфларининг технологик меъёри пастда келтирилган ифодага мувофиқ аниқланади [10,11]:

$$\Delta \mathcal{E}_{H_{C}}^T = 1.03 \Delta \mathcal{E}_{H_{C}}^{rp}. \quad (20)$$

Алоҳида олинган насос қурилмаси томонидан сув устунининг бир метр баландлигига минг.м³ узатиладиган сув учун электр энергиясининг умумий ишлаб чиқариш сарфлари меъёри пастда келтирилган ифодага мувофиқ аниқланади [11]:

$$\Delta \mathcal{E}_{H_{C}}^{ym} = \Delta \mathcal{E}_{H_{C}}^T + \frac{\Delta \mathcal{E}}{\sum_{i=1}^y (W_i H_i)}, \quad (21)$$

бу ерда $\Delta \mathcal{E}_c$ – насос қурилмалари ва қудуқ қурилмаларини электр билан таъминлаш учун сув хўжалиги ташкилотлари балансида бўлган электр тармоқларидаги электр йўқотишлар миқдори, кВт · соат.

Турли электр параметрларини бошқариш асосида суғориш сувини юқорига чиқариш мажмуасининг электр энергияси сарфини меъёрини ҳисоблаш пастда келтирилган тартибда амалга оширилади [12].

Бериладиган қувур ўтказгичдаги босим ўзгармас бўлганда (гидравлика ушлаб турилганда) насоснинг унумдорлиги ростланганда қуйидпаги формуладан фойдаланиш керак [12,13]:

$$\frac{Q_f}{Q_{НОМ}} = \frac{n_f}{n_{НОМ}}.$$

Бундан

$$n_f = \frac{Q_f}{Q_{НОМ}} \cdot n_{НОМ},$$

бу ерда Q – сувни юқорига чиқариш мажмуасининг электр параметрларини ростлангандаги унумдорлиги, м³/с; $Q_{НОМ}$ – суғориш сувини юқорига чиқариш мажмуасининг юқори самарадорлиги, м³/с; $n_{НОМ}$ – электромеханик тизимнинг номинал айланиш тезлиги, айл/мин; n_f – электр параметрларини ростлашдаги электромеханик тизимнинг юқори айланиш тезлиги, айл/мин.

Сувни юқорига чиқариш мажмуа айланиш тезлиги ростланганда ишлашидаги (ўзгартиргич ёрдамида ростланади) валдаги қуввати пастда келтирилган формула биноан аниқланади [13]:

$$\frac{N_f}{N_{НОМ}} = \frac{n_f^3}{n_{НОМ}^3},$$

$$N_f = N_{НОМ} \cdot \frac{n_f^3}{n_{НОМ}^3},$$

бу ерда $N_{НОМ}$ – сувни юқорига чиқариш мажмуа валидаги юқори энергия, кВт. Ушбу қувват пастда келтирилган ифода билан аниқланади:

$$N_{НОМ} = \frac{\rho g Q_{НОМ} H_{НОМ}}{1000 \eta_{НОМ}},$$

бу ерда $H_{НОМ}$ – сувни юқорига чиқариш мажмуа юқори босими, м; $\eta_{НОМ}$ – сувни юқорига чиқариш мажмуа юқори самарали иш коэффициентини.

Сувни юқорига чиқариш мажмуа юқори тезликда ишлагандаги электр энергиясининг сарфи (кВт·соат):

$$W_H = N_{НОМ} \cdot T \cdot k_H.$$

Қудуқли насос агрегатлари электр энергияси учун сарф меъёри пастда келтирилган алгебраик формула орқали аниқланади [13]:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{қудуқ}}^{\text{И}} = \frac{2725}{\eta_{\text{нас}} \eta_{\text{дв}}}, \quad (22)$$

бу ерда $\eta_{\text{нас}}$, $\eta_{\text{дв}}$ – мазкур эксплуатация режимида қудуқ насоси, электромеханик тизимининг ФИК.

Ускунанинг эскириши туфайли емирилиш омилини ҳисобга олган ҳолда насоснинг ФИК пастда келтирилган формула бўйича ҳисобланади [13]:

$$\eta_{\text{нас}} = K_{\text{емирилиш}} \eta_{\text{ҳисобий}}. \quad (23)$$

Темир моддаларининг ўз-ўзидан емирилиш коэффициентини насос қурилмаси капитал таъмирлашнинг давомийлигини ёки ишлаш вақтини тугаши билан сувни юқорига кўтариш мажмуасини алмаштириш билан белгиланади [13,14]:

$$K_{\text{емирилиш}} = e^{-8,33 \cdot 10^{-6} \cdot T_{\text{пр}}}, \quad (24)$$

бу ерда $T_{\text{пр}}$ – алмаштириш ёки капитал таъмирдан кейин насосларнинг ишлашини давомийлиги, соат:

$$\eta_{\text{хисобий}} = \frac{9.81 \cdot Q_{\text{кудук}} H_{\text{кудук}}}{N_{\text{кудук}}} \quad (25)$$

Ушбу эксплуатация қилиш режимда қудук насосининг узатиши, босими ва қуввати пастда келтирилган ҳисобланади:

$$Q_{\text{кудук}} = \kappa_C \sqrt{\frac{a_k - H_{\text{П}}}{V_k + R_{\text{кудук}}}}, \quad (26)$$

$$H_{\text{кудук}} = a_k(1 - F_{\text{кудук}}) + F_{\text{кудук}} H_{\text{П}}, \quad (27)$$

$$N_{\text{кудук}} = V_k Q_{\text{кудук}}^{\alpha_k} F_{\text{сқв}} = \frac{V_k}{V_k + R_{\text{кудук}}} \kappa_C^2,$$

бу ерда a_k , V_k , V_k , α_k – насоснинг ушбу маркаси учун доимий коэффициентлар (мазкур насоснинг паспорт маълумотлари ёки мазкур насоснинг маркасига мос бўлган маълумотномалар бўйича қабул қилинади).

Қудук насос қурилмаси ўтказувчанлигининг (κ_C) хизмат кўрсатиш муддатига боғлиқ ўзгариши пастда келтирилган ифодага мувофиқ аниқланади [15]:

$$\kappa_C = 1 - 0.01 \lambda \tau^m, \quad (28)$$

бу ерда λ ва m – ташилаётган суюқликнинг физик-кимёвий хоссаларига боғлиқ бўлган параметрлар; τ – босимли қувиридан эксплуатация қилинишнинг давомийлиги, йилларда.

Сув кўтарилишининг фойдали баландлиги пастда келтирилган ифодадан аниқланади:

$$H_{\text{бос}} = H_{\Gamma} + \Delta h_{\text{сатх}}, \quad (29)$$

бу ерда H_{Γ} – кўтарилишнинг геометрик баландлиги; $\Delta h_{\text{сатх}}$ – қудукнинг маълум бир эксплуатацион солиштирма дебетда сатҳининг ҳисобланган пасайиши, м.

Тизимнинг сув босим қатлаидан босим қувирунинг йиғиш тешигигача бўлган суви ҳаракати йўлидаги умумий қаршилиги пастда келтирилган ҳисобланади [16]:

$$R_{\text{кудук}} = (s_{\text{қар}} + 1.1 A_{\text{меъёр}1} l_1) A_{\text{меъёр}2} l_2, \quad (30)$$

бу ерда $s_{\text{қар}}$ – насосларнинг электромеханик тизими атрофидаги оқимдаги босим йўқотишлари келтириб чиқарган қаршилик, $\text{с}^2/\text{м}^5$; $A_{\text{меъёр}1}$ – узунлиги l_1 бўлган суви кўтарувчи қувируларнинг солиштирма қаршилиги, $\text{с}^2/\text{м}^6$; $A_{\text{меъёр}2}$ – узунлиги l_2 бўлган чиқариш босим қувирунинг солиштирма қаршилиги, $\text{с}^2/\text{м}^6$.

$s_{\text{қар}}$ нинг қиймати пастда келтирилган аниқланади

$$s_{\text{қар}} = \frac{0.04 l_3 + 0.03 (D_c - D_3)}{12.1 \cdot 10^6 (D_c + D_3)^2 (D_c - D_3)^3}, \quad (31)$$

бу ерда l_3 – электромеханик тизимининг узунлиги, м; қудукнинг диаметри, м; D_3 – электромеханик тизимининг диаметри, м.

Қудукли суғориш сувини юқорига чиқариш мажмуаси электромеханик тизимининг ҳар қандай юкланишдаги самарали иш коэффициентининг жорий қиймати ифодадан аниқланади:

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{\eta_{\text{двном}}} - 1 \right) \frac{\left(\kappa_3 + \frac{a_{\text{иср}}}{\kappa_3} \right)}{(1 + a_{\text{иср}})}}. \quad (32)$$

Мазкур жойда $\eta_{\text{элтюкори}}$ – электромеханик тизими самарали иш коэффициентининг юқори қиймати; айўқотиш – дегани истеъмол қилинадиган электромеханик тизимларининг тезлигига боғлиқ бўлган йўқотиш бирлиги.

Ушбу қайта таъмирдан чиққан тартибда кудуқ насоси электромеханик тизимининг юкланиш коэффициентини пастда келтирилган аниқланади:

$$K_3 = \frac{1}{K_{\text{емирилиш}}} \cdot \frac{N_{\text{кудуқ}}}{N_{\text{ном}}}, \quad (33)$$

бу ерда $N_{\text{юкори}}$ – бу кудуқ насоси электромеханик тизимининг юкори куввати, кВт.

Кудуқ насослари томонидан сув устунининг бир метр баландлигига млн.м³ чиқарилган обихаёт (суғориш суви) учун электр энергиясининг умумий ишлаб чиқариш сарфи меъёрлари пастда келтирилган ифодага мувофиқ аниқланади:

$$\Delta \mathcal{E}_{\text{кудуқ}}^{\text{умумий}} = \Delta \mathcal{E}_{\text{кудуқ}}^{\text{и}} + \frac{\Delta \mathcal{E}_c}{W_{\text{кудуқ}} H_{\text{кудуқ}}}, \quad (34)$$

бу ерда $W_{\text{кудуқ}} = 0.0036 Q_{\text{кудуқ}} t_{\text{кудуқ}}$; $W_{\text{кудуқ}}$ – режалаштирилган вақт оралиғида кудуқ насос қурилмаси томонидан чиқарилган сув ҳажми, минг метр куб; $t_{\text{кудуқ}}$ – кудуқли суғориш сувини юқорига чиқариш мажмуасининг юкори натижада ва узоқ муддатда ишлайдиган вақти, соат.

Хулоса. Насос агрегатлари кўтариб берилаётган сув ҳажми учун электр энергиянинг сарф меъёрини ишлаб чиқишда асосий усуллардан бири ҳисоблаш-таҳлилий усули ҳисобланади. Бундан ташқари баъзи ҳолларда тажрибавий ва статик – ҳисоб, бирлашган усулларида фойдаланиш имкониятлари пайдо бўлади. Кўтариб берилаётган сув ҳажми учун электр энергиянинг сарф меъёрини аниқлашда насос станцияларининг гидроэнергокуч қурилмалари ҳақида маълумот хизмати, уларнинг техник параметрлари, агрегатнинг босимли узатувчи қувур билан жамлаш схемаси ва тузилиши, шунингдек, оралик вақт учун қараладиган насос станциясининг ишлаши эксплуатация кўрсаткичларининг асосий бошланғич маълумотлари олинади. Электр двигатель параметрлари ва насоснинг каталог характеристикаларини аниқ маълумотлар асосида ҳисоблаш қабул қилинади. Электр энергиянинг сарф меъёрини ҳисоблаш учун қуйидаги бошланғич маълумотлар келтирилади: сув чиқариш жадвали, насос ва электр двигатель типлари, босимли узатувчи қувурнинг жамланмаси, узатувчи қувурнинг таркиби ва узунлиги, сув чиқаришда геометрик баландлик ва келгуси даврда бир вақтда ишлайдиган насос агрегатлари сони ва хоказолар. Электромеханик тизимларининг электр параметрлари орқали самарали ростилашда электр энергиянинг меъерий методологияси, мажмуа жамланмаларининг кувватини, яъни (электр энергияси назарда тутилган) натижавийлигини аниқланган ва ҳисобга олган ҳолда такомиллаштирилди.

ФОЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Камалов Т.С., Ишназаров О.Х., Шавазов А.А. Водосберегающая и энергосберегающая технологии насосных станций систем машинного орошения. Монография. ISBN: 978-9910-9269-1-4. Ташкент: Изд-во ООО “Impress Media”, 2023. – 194 с.
2. Камалов Т.С., Шавазов А.А., Тухтаев Б.Б. Машинали суғориш тизими насос станцияларининг иш режимларини тизимли таҳлил қилиш// Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2021. № 2. 57 – 64 б.
3. Шавазов А.А., Сайфуллаева Л.И. Роль энергоёмких насосных станций в линиях электросетей// Проблемы информатики и энергетики. Ташкент, 2021. № 5. С. 64 – 68.
4. Toirov O., Shavazov A., Rustamova D. // Methods for Regulating the Performance of Pumping Units // International Journal of Advanced Research in

5. Ishnazarov O.X., Shavazov A.A., Ishanova D.A. Nasos qurilmalarida moment va tezlikni avtomatik rostdash masalalari // Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, «Innovatsion texnologiyalar» ilmiy jurnali. 2023/2 (50)-son. 45 – 50 b.
6. Шавазов А.А., Эшкузиев Х.М., Зохидов И.З. Частотавий ростланувчи асинхрон электрюритмаларнинг насос станциялари билан ўзаро боғлиқ тизимлари // Фарғона политехника институти, Илмий-техника журнали, 2023. Спецвыпуск №15. 99 – 105 б.
7. Ishnazarov O.X., Shavazov A.A., Eshqo‘ziyev X.M. Yirik sugo‘rish nasos stansiyalarida sinxron elektr yuritmalarining chastotaviy boshqarish tizimi // Fan va texnologiyalar taraqqiyoti ilmiy texnikaviy jurnal. Buxoro. 2024. №2 son. 58 – 64 betlar.
8. Камалов Т.С., Исаков А.Ж., Шавазов А.А., Тухтаев Б. Насос агрегатларини частота ўзгартиргичи қурилмалари орқали бошқариш самарадорлиги // Ўзбекгидроэнергетика. ISSN-C-15351. Илмий-техник журнал. Тошкент, 2021. №3. 37 – 39 б.
9. Ишназаров О.Х., Шавазов А.А., Сайфуллаева Л.И. Роль энергоёмких насосных станций в горно-рудной промышленности // Кончилик машиналари ва технологиялари. Тошкент, 2022. №3(1), Б.76 – 81.
10. Шавазов А.А., Ишанова Д. А. Частотное управление асинхронного двигателя в замкнутой системе при непостоянной нагрузке // «Zamonaviy dunyoda ilm-fan va texnologiya» nomli ilmiy-amaliy konferensiya // <https://doi.org/10.5281/zenodo.7151691>.
11. Шавазов А.А., Ишназаров О.Х. Частотное управление электропривода и его влияние на электрические сети // Материалы Международной научно - практической конференции «Актуальные проблемы энергетики в условиях цифровизации экономики», 24 – 26 ноября 2022 г. Бухара, 2022.
12. Шавазов А.А., Ишназаров О.Х., Сайфуллаева Л.И. Динамическая модель системы «двигатель–насос–трубопровод» // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». Кемерово, 7 – 9 декабря 2022 г. Кемерово, 2022.
13. Shavazov A., Ishanova D. Nasos qurilmalarini avtomatik boshqarish tizimlari // “TIQXMMI” MTU Buxoro tabiiy resurslarni boshqarish instituti “Tabiiy resurslardan samarali foydalanishda agroekotizimlar barqarorligining dolzarb muammolari” mavzusidagi xalqaro ilmiy va ilmiy-texnikaviy anjuman, 2023-yil, IV-bo’lim: Qishloq va suv xo‘jaligini mexanizatsiyalash hamda avtomatlashtirish, betlar.
14. Kamalov T., Isakov A., Shavazov A., Tukhtamishev B., Elmuratova A. Calculation of specific rates of the electric energy consumption at frequency regulation of electric drives: A case study of pumping stations// Proceedings of the International Scientific and Technical Conference, 14-16 October 2021. Tashkent: Uzbekistan, 2021 (Scopus).
15. Isakov A., Shavazov A., Ismailova Z., Rakhmankulova B. Frequency control of asynchronous motor for an irrigation pump of machine irrigation systems // E3S Web of Conferences. 2023. №402. P.100 – 04.
16. Шавазов А.А., Эшкузиев Х.М., Ишанова Д.А. “Энергетическая эффективность крупных оросительных насосных станций” / «Advances in

ЎзР ФА Энергетика муаммолари институти

11.04.2025
қабул қилинган

УЎК-620.92

Н.Н. САДУЛЛАЕВ, Ш.Н. НЕМАТОВ, М.О. ГОФУРОВ

ЎЗБЕКИСТОНДА ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСИДАН ФойДАЛАНИШ САМАРАДОРЛИГИГА ТАЪСИР ЭТУВЧИ ОМИЛЛАР ТАҲЛИЛИ

Мақолада хорижий давлатлар тажрибаси асосида Ўзбекистон Республикасида электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигига таъсир этувчи омиллар таҳлил қилинган. Энергия истемоли тақчиллигига сабаб бўлувчи маҳсулот энергия сифимини ошириш, энерготизимни модернизациялаш, энергия истемолига субсидия бериш каби омиллар таҳлил қилинган. Иқтисодиётда электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш бўйича тавсиялар таклиф қилинган.

Калит сўзлар: электр энергияси, жон бошига ишлаб чиқарилган электр энергияси, жон бошига ЯИМ, субсидия, “яшил” энергетика, энерготизимни модернизациялаш, энергия тежаш.

Н.Н. Садуллаев, Ш.Н.Нематов, М.О. Гафуров

Анализ факторов, влияющих на эффективность использования электроэнергии в Узбекистане

В статье рассмотрены факторы, влияющие на эффективность использования электроэнергии в Республике Узбекистан, на основе анализа опыта зарубежных стран. В частности, такие, как повышение энергоёмкости продукции, модернизация энергосистемы, субсидирование электропотребления, приводящее к дефициту электропотребления. Предложены рекомендации по повышению эффективности использования электроэнергии в экономике.

Ключевые слова: электроэнергия, производство электроэнергии на душу населения, ВВП на душу населения, субсидия, «зеленая» энергетика, модернизация энергосистемы, энергосбережения.

N.N. Sadullaev, Sh.N. Nematov, M.O. Gofurov

Analysis of factors affecting the efficiency of electricity use in uzbekistan

The article analyzes the factors influencing the efficiency of electricity use in the Republic of Uzbekistan based on the analysis of the experience of foreign countries. The factors of increasing energy intensity of products, modernization of the energy system, subsidizing of electricity consumption, leading to a deficit of electricity consumption are analyzed. Recommendations are proposed for increasing the efficiency of electricity use in the economy.

Keywords: electricity, electricity production per capita, GDP per capita, subsidy, "green" energy, modernization of the energy system, energy saving.

Ҳозирги кунда мамлакатимизда ҳукуматимиз томонидан энергетика соҳасини тубдан ислоҳ қилиш ва соҳани рақамли технологиялар асосида модернизация қилиш борасида ислохотлар олиб борилмоқда. Жумладан, Ўзбекистонда жон бошига тўғри келадиган ялпи ички маҳсулотни 2 бараварга ошириш мақсадида 2030 йилда электр станцияларнинг қуввати ҳозирги вақтга

нисбатан 2.28 бараварга, яъни 12.8 млрд кВтдан 29.3 млрд кВт га ошиши белгиланган. 2026-2024 йилларда электр энергияси ишлаб чиқариш 47%га ошди. Шунга қарамасдан мамлакатимизда электр энергияси тақчиллиги тўла бартараф этилмади. Бунга асосий сабаб аҳолининг ва иқтисодиётни жадал ўсиб бориши бўлиб бундан ташқари бошқа омиллар ҳам ўз таъсирини кўрсатади. Бунинг учун иқтисодиётимизда энергия тақчиллигини вужудга келтирувчи сабаб бўлиши мумкин бўлган қуйидаги омилларни ўрганиб чиқамиз:

- Ўзбекистонда электр энергияси ишлаб чиқариш етарли даражада эмас ва электр станциялари қувватини кескин ошириш керак;

- Ўзбекистонда электр энергияси ишлаб чиқариш етарли даражада, аммо, ундан фойдаланиш самарадорлиги паст бўлгани сабабли энергия етишмовчилиги келиб чиқади;

- Ўзбекистонда Электр энергетика соҳасининг инфратузилмаси, унга хизмат кўрсатиш ва фаолиятини бошқариш тизими замонавий талабларга жавоб бермайди ва электр тармоқларда самарасиз энергия йўқотишлар кўп;

- электр истемоли учун бериладиган субсидиялар энергия самарадорликни оширишга хизмат қилмайди ва энергия тақчиллигини кучайтиради.

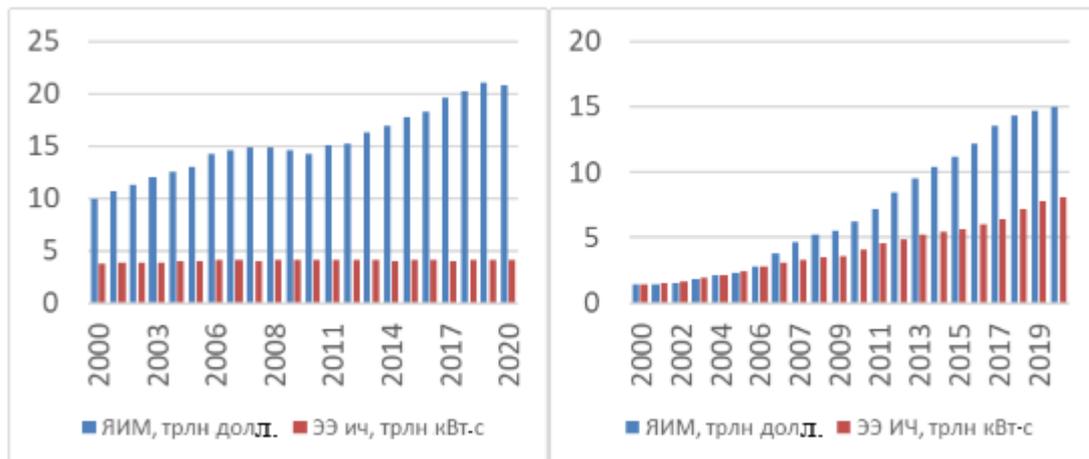
Ушбу омилларни энергия самарадорликка таъсирини хорижий давлатлар тажрибаси асосида таҳлил қиламиз. Хўш, давлатимизда ишлаб чиқарилаётган электр энергияси иқтисодиётимиз учун етарлими. Дастлаб, жон бошига ишлаб чиқарилган электр энергияси кўрсаткичини (ЭЭ ИЧК) иқтисодиётга ёки жон бошига ишлаб чиқарилган ялпи ички маҳсулот кўрсаткичига (ЯИМ ИЧК) боғлиқликни таҳлил қиламиз (1-жадвал).

1-жадвал

Жон бошига ишлаб чиқарилган электр энергияси кўрсаткичини иқтисодиётга ёки жон бошига ишлаб чиқарилган ялпи ички маҳсулот кўрсаткичига боғлиқлиги

№	Давлат номи	Электр энергияси		Ялпи ички маҳсулот	
		жон бошига	жаҳонда ўрни	жон бошига	жаҳонда ўрни
1.	Исландия	53832	1	68843	7
2.	АҚШ	12984	10	69375	5
3.	Германия	7035	23	50787	16
4.	Россия	6603	28	11273	63
5.	Қозоғистон	5600	36	10283	65
6.	Хитой	3927	52	11891	59
7.	Ўзбекистон	2200	88	2020	146
8.	Ҳиндистон	806	108	2116	143

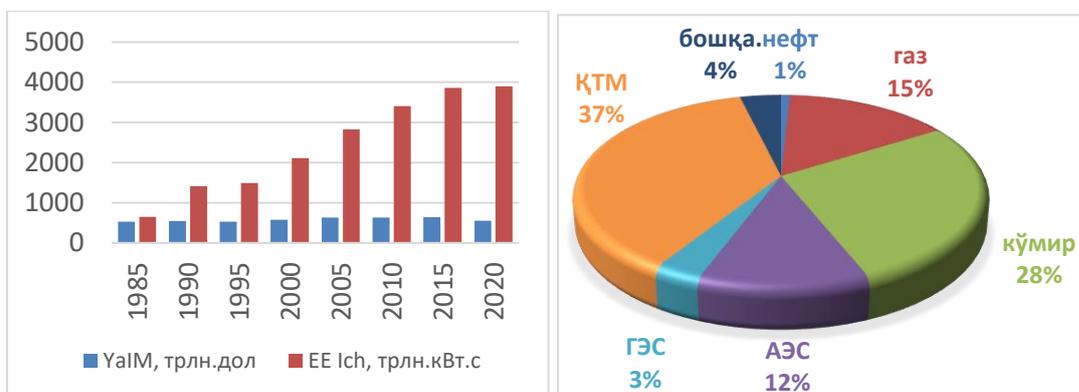
Жадвалдан кўринадики, бундай боғлиқлик мавжуд, аммо, чизикли эмас. Яъни, баъзи давлатлар жон бошига ЭЭ ИЧК бўйича ЯИМ ИЧК га ўринга нисбатан юқори бўлса (Исландия, Қозоғистон, Ўзбекистон, Россия) айрим давлатларда жон бошига ЭЭ ИЧК ўрни ЯИМ ИЧК ўрнидан анча паст. Масалан, Ўзбекистон жон бошига ЭЭ ИЧК бўйича анча юқори (88) ўринга эга бўлса ҳам жон бошига ЯИМ ИЧК бўйича анча паст кўрсаткичга эга (146-ўрин). Умуман олганда ушбу боғланишда мутаносиблик мавжуд. Яъни, ЭЭ ИЧК юқори бўлган давлатларда ЯИМ ИЧК ҳам юқори. Ўзбекистонда жон бошига ЭЭ ИЧК ривожланган давлатларга нисбатан бир неча марта кам эканини эътиборга олиб барқарор ривожланиш учун ушбу кўрсаткични камида 2 бараварга ошириш мақсадга мувофиқ. Ҳукумат қарорларида ушбу кўрсаткични таъминлаш кўзда тутилган [1, 2].



1-расм. АҚШ (а) ва Хитойнинг (б) 2000-2020 йилларда ЯИМ (трлн АҚШ доллари) ва электр энергияси (трлн. кВт·соат) истемолининг ўзгариши

Энди, иккинчи омилини, яъни энергия етишмовчилликка энергия самарадорликни таъсирини кўриб чиқамиз. Дастлаб, ривожланган хорижий давлатларда иқтисодий ўсиши электр энергиясини ишлаб чиқариш ҳажмига қандай таъсир кўрсатганини кўриб чиқамиз. 1-расмда 2000-2020 йилларда АҚШ ва Хитойни ЯИМ ва Электр энергияси истемолини белгиловчи диаграммалар келтирилган. АҚШ 20 йил давомига электр энергияси истемолини оширмасдан ЯИМ ни 2.2 бараварга оширган. Хитой бу даврда ЯИМ ни 10 бараварга электр энергия истемоли эса 5 бараварга ошган [1, 2].

Бундай ривожланиш динамикасини Германия иқтисодиётида ҳам кўриш мумкин. Германияда электр энергиясини ишлаб чиқариш 1985 -2020 йилларда деярли ўзгармаган [1.2], ЯИМ эса 5.7 бараварга (700 млрд. дан 4 трлн. гача) ўсган. Ҳозирги кунда ишлаб чиқарилган электр энергиясини 52% ортиғини “яшил” энергия манбалари, жумладан, шамол электр станциялари-32%, қуёш электр станциялари 4.8% ва АЭС 12% ни ташкил этган. Бу даврда, анъанавий тарзда (иссиқлик электр станцияларида) электр энергияси ишлаб чиқариш 2 бараварга камайган. Бундай ривожланиш динамикаси кўпгина ривожланган давлатлар: Япония, Франция, Италия, Буюк Британия давлатларида ҳам кўриш мумкин (2-расм).



a
б
 2-расм. Германияда ЯИМ ва электр энергияси истемоли (а), ва электр энергияси манбалари таркиби (б)

2-жадвал

Ишлаб чиқарилаётган электр энергияси Ўзбекистондаги микдор атрофида бўлган хорижий давлатларни ЯИМ ҳажмини таҳлили

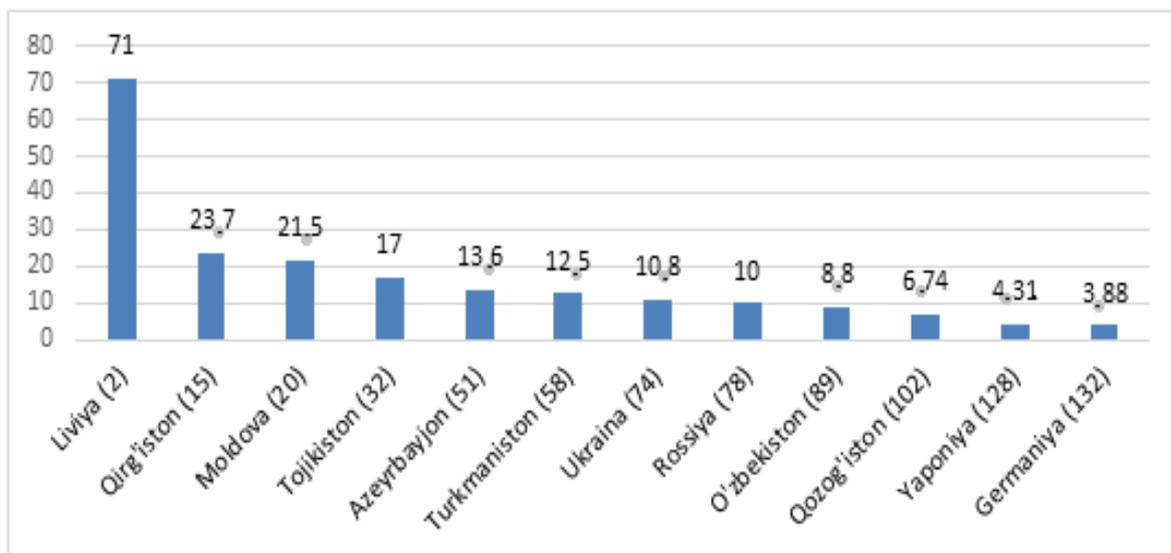
	Давлат номи	ЭЭ ИЧ (ўрни), млрд. кВт*с.	ЯИМ (ўрни), млрд. долл.	ЯИМ нисбати, баравар	Аҳоли, млн. киши	Жон бош. ЯИМ (ўрни), долл.	Жон бошига ЭЭ ИЧ (ўрни), кВт*соат
1.	Колумбия	90.4 (89)	343(43)	4.38	50.883	6741 (91)	1776 (101)
2.	Исроил	74.4 (48)	370(32)	4.62	9.136	33370 (18)	8087 (29)
3.	Австрия	67.8 (49)	456 (27)	5.7	8.915	51121 (13)	7600 (18)
4.	Швейцария	66.8 (50)	818 (20)	10.2	8.637	94785 (21)	7831 (21)
6.	Ўзбекистон	76.3 (45)	80.4 (71)	1	36.14	2200(146)	2119 (88)
7	Ангола	14.5 (68)	106.8 (67)	1.32	36.7	2029 (143)	395 (128)

Жадвалда қавс ичида берилган рақамлар давлатнинг ушбу кўрсаткич бўйича жаҳон рейтингдаги ўрнини кўрсатади. Жадвалнинг 5-устунида давлат ялпи ички маҳсулотининг (ЯИМ) Ўзбекистон ЯИМга нисбати кўрсатилган. Жадвалдан кўриш мумкин-ки, ушбу давлатларда Ўзбекистонда ишлаб чиқарилган микдордаги электр энергияси билан бизнинг иқтисодиётимизга нисбатан 4 баравардан 12 бараваргача катта иқтисодиётни энергия билан таъминлаётганини кўриш мумкин [2]. Аҳолиси ва ЯИМ деярли бир хил бўлган Ангола давлатида эса электр энергияси 5 марта кам ишлаб чиқарилади. Бу эса Ўзбекистонда бирлик қийматдаги ЯИМ энергия сиғими анча катталигини ва электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигини ошириш бўйича имкониятларимиз юқорилигини кўрсатади.

Шундай қилиб, “бирлик” даромадни олиш учун энергия тақчил бўлган давлатларда кўп энергия сарфланган, энергия кўп бўлган давлатларда эса энергия кам (тежамкор) сарфланиб кўпроқ даромад олинган. Ўзбекистонда ишлаб чиқариш асосан энергия сиғими юқори ва арзон маҳсулотлар (қурилиш материаллари, кимёвий ўғитлар, қишлоқ хўжалиги, иккиламчи энергия ресурслар ишлаб чиқариш ва ш.ў.) ишлаб чиқаришга ихтисослашган бўлиб электр энергияси истеъмоллини камайтириш имконини чеклайди. Энергияга тўловлар арзон бўлганлиги сабабли энергия сиғими катта ва арзон маҳсулотлар ҳам кенг ишлаб чиқарилмоқда.

Кейинги омил, яъни, “Ўзбекистонда Электр энергетика соҳасининг инфратузилмаси, унга хизмат кўрсатиш ва фаолиятини бошқариш тизими замонавий талабларга жавоб бермайди” фикрни таҳлил қиламиз. Охириги йилларда энергетика тизимини модернизация қилиш бўйича ислохотлар ўтказилди. Жумладан, электр энергиясини ишлаб чиқариш, узатиш, тақсимлаш ва истемол жараёнларини рақамлаштириш мувафақиятли амалга оширилди. Иқтисодиётимизнинг турли соҳаларида фаолият олиб бораётган корхоналарнинг аксарияти ривожланган хорижий давлатлардан олиб келинган замонавий технологиялар асосида ишлаётгани сабабли ушбу маҳсулотларнинг техник самарадорлик кўрсаткичлари (маҳсулот бирлигига солиштира энергия сарфи ва

ФИК) юкори қийматга эга. Энергия ишлаб чиқарувчи манбалар ва қурилмаларни, энергияни узатиш ва тақсимлаш тизимларининг ҳам фойдали иш коэффициентини (ФИК) ҳам деярли фарқ қилмайди.



3-расм. Жаҳон давлатлари ичида электр тармоқларда қувват исрофлари қиймати, %

Энергетика тизимини замонавийлигини ёки инфратузилма самарадорлигини белгиловчи асосий кўрсаткичлардан бири электр тармоқдаги қувват исрофлари ҳисобланади. 3-расмда жаҳон ва МДХ давлатларда электр тармоқлардаги қувват исрофлари фойиз миқдорида келтирилган [4]. Ушбу кўрсаткич бўйича биз ўртачадан яхшироқ ўринни ва МДХ давлатлари ичида эса энг яхши кўрсаткичлардан бирини эгаллаймиз. Шунинг учун, энергия тақчиллигини келтириб чиқарувчи сабаб сифатида ушбу даъво етарли даражада асосли эмас.

Охирги даъво, яъни “энергия истемолчиларига берилаётган субсидиялар энергия самарадорликка салбий таъсир кўрсатмоқда” кўриб чиқамиз. Энергетика тизимида олиб борилаётган ислохотларни амалга оширишдаги яна бир тўсиқлардан бири энергияга тўловларни ошириш ёки эркинлаштиришдаги қийинчиликлар ҳисобланади. Маълумки, аҳолига етказиб берилаётган электр энергиясини субсидиялар орқали электр энергияси таннархидан (1000-1200 сўм) арзон (600 – 800 сўм) сотиляпти. Аксарият ҳолатларда субсидиялар энергия истеъмолини кескин ошиб кетишига сабаб бўлган. Бу ҳолат соҳани ривожлантириш учун инвестицияларни жалб қилишни қийинлаштирмоқда. Энергетика соҳасини эркин иқтисодиёт муносабатларига ўтказиш ва электр энергияси нархларини эркинлаштиришга ёки энергия нархини фойда кўриш даражасигача кўтариш жараёнини мунтазам кечиктиришга аҳолининг норозилиги сабаб бўлмоқда. Ўзбекистонда иш ҳақи анча кам шунинг учун электр энергиясига тўловлар етарлича юқори ва тарифларни ошириш адолатдан эмас” деб айтиляпти. Ўзбекистонда электр энергиясига тўловлар иш ҳақида қай даражада мутаносиб эканлигини таҳлил қиламиз.

Ушбу муаммо қуйидаги тартибда таҳлил қилинди. Ўзбекистонда ва хорижий давлатларда аҳоли томонидан истеъмол қилинган электр энергия тўловлари ўртача иш ҳақининг (оила даромадининг) неча фоизини ташкил этади. Хорижий давлатларда ҳам ҳар бир хонадон Ўзбекистондаги миқдорда (223 кВт

соат) электр энергияси истеъмол қиладиган бўлса ойлик электр энергиясига тўловлар ўртача иш ҳақиға нисбатан салмоғи қандай бўлади (3-жадвал).

3-жадвал

Ойлик электр энергиясига тўловлар ўртача иш ҳақиға нисбатан салмоғи

№	Давлат номи	Ойлик истеъмол, кВт·соат	Тўлов ставкаси, сент/кВт * соат	Тўлов миқдори, долл.	Ўртача ойлик иш ҳақи, долл.	Иш ҳақиға нисбатан тўлов салмоғи, %	Ўзбекистонга нисбатан тўлов қарралиғи
1.	Германия	223	41	91.4	3072	3	1.2(9.8)
2.	Ўзбекистон	223	4.2	9.36	373	2.51	1 (1)
3.	Литва	223	28	62.4	1312	4.8	1.91 (6)
4.	Молдова	223	14	31.2	461	6.7	2.66 (5)
5.	Греция	223	27	60.2	1203	5.0	2 (6)
6.	Бангладеш	223	5.3	11.8	153	7.7	3 (1.3)
7.	Чехия	223	36	80.3	1312	6.11	2.26 (8.6)
8.	Мексика	223	9.8	21.85	389	5.6	2.23 (2.3)

1-жадвалдан Германияда Ўзбекистонга нисбатан иш ҳақи 8,23 бараварга, электр энергиясига тўлов ўртача иш ҳақиға нисбатан 1,2 бараварга, тўлов ставкаси эса 9,8 баравар [3] катта эканини кўриш мумкин [5]. Аксарият давлатларда электр энергиясига тўловлар ўртача иш ҳақини 3% атрофида эканини кўриш мумкин. Ўзбекистонда эса бу кўрсаткич 2.5 %ни ташкил этади. Кўпгина хорижий давлатларда жон бошига электр энергияси истеъмоли Ўзбекистондан юқори бўлганлиги сабабли реал тўловлар бундан ҳам юқори бўлади. Жадвалдаги охириги устунда ўртача иш ҳақиға нисбатан олинган фоизларни Ўзбекистондаги қийматга нисбатан қарралиғи ва қавс ичида эса жорий тўлов ставкалари нисбати келтирилган. Шундай қилиб, Ўзбекистондаги аҳоли учун электр энергияси истеъмолига белгиланган тўловлар жорий қийматига кўра ҳам ўртача иш ҳақиға нисбатан ҳам энг кам тўловлардан бири эканини кўриш мумкин.

Энергия истеъмоли учун берилган субсидиялар ҳамма вақт ҳам самара беравермайди. Бу субсидиялар истеъмолни камайтириш ўрнига уни оширишига сабаб бўлади. Масалан, Араб давлатларида берилган субсидиялар туфайли 1971 йилдан 2015 йилгача бўлган даврда ички нефтга бўлган талаб Кувайтда 521 фоизга, Қатарда 12 500 фоизга ва БААда 27 733 фоизга ошган. Ўзбекистон аҳолисини салмоқли қисмини ижтимоий ҳимояга муҳтож оилалар ташкил этганини ҳисобга олиб электр энергиясига тўловни оширганда ушбу оилаларга субсидия бериш лозим бўлади. Субсидиялар истеъмол қилинган электр энергиясига эмас, ижтимоий ёрдамга муҳтож шахсларга манзилли йўналтирилган бўлиши лозим [6]. Таҳлиллар натижасига кўра, аҳолининг энг ижтимоий ҳимояга муҳтож 10% қисмига (3.5 млн) 200 кВт·соат ва яна 10% қисмига эса 100 кВт соат·электр энергияси тўловсиз етказилиб жами 7 млн. аҳолига манзилли ёрдам кўрсатилиши мақсадга мувофиқ эканини кўрсатади. Аҳолининг қолган қисми электр энергиясини таннархдан кам бўлмаган қийматда сотиб олади ва давлат томонидан берилаётган субсидия 3 бараварга камайтирилади [6]. Бу ўз навбатида

сохани фойда кўриб фаолият юргизиш ва бозор иқтисодиёти муносабатларига ўтказиш имконини беради.

Хулосалар. Иқтисодиётнинг барқарор ривожланиши жон бошига ишлаб чиқарилаётган электр энергияси миқдорига боғлиқ бўлиб ушбу кўрсаткични камида 3000 кВт·соат/киши қийматга етказиш зарур. Ҳозирги кундаги энергия истемолидаги муаммоларни тезкор ва самарадор ечими “яшил” энергетикани ривожлантириш ҳисобланади [7].

Ривожланган давлатларда инновацион иқтисодиётга ўтиш орқали иқтисодиётни электр энергиясини ишлаб чиқариш миқдорини оширмасдан ҳам (ёки камайтирган ҳолда) ривожлантириш имкониятини берган. Ўзбекистонда электр энергиясини ишлаб чиқариш ҳажмини ошириш билан бирга истемолчилар таркибини энергия сифими кичик ва юқори қўшимча қиймат яратишга ихтисослашган ишлаб чиқариш соҳаларига ўзгартириб бориш керак. Айниқса, рақамли иқтисодиётни яратиш, хизмат кўрсатиш соҳасини ривожлантириш, энергия тежамкор ва экологик тоза технологияларни жорий этишга эътиборни кучайтириш лозим.

Ривожланган давлатлар тажрибаси асосида Ўзбекистон энергетика тизимини давлат монополиясидан чиқарилиб бозор муносабатларига асосланган ўзаро рақобат муҳитида фаолият олиб борувчи энергия ишлаб чиқарувчиларни эркин бозорини шакллантириш лозим. Бунда фақат аҳолининг ижтимоий ҳимояга муҳтож қатламларига субсидиялар бериш механизмлари таъминланиши зарур.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Most Powerful Economies in the World (1980-2026)
<https://www.youtube.com/watch?v=qmOnUSE6vjQ>.
2. Maiores Produtores de Energia Elétrica do Mundo (kWh)
<https://www.youtube.com/watch?v=tcVG7VZp7cw>.
3. https://ru.globalpetrolprices.com/electricity_prices/.
4. <https://www.indexmundi.com/facts/indicators/EG.ELC.LOSS.ZS/rankings>.
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_стран_по_средней_заработной_плате.
6. Садуллаев Н.Н., Ғофуров М.О., Неъматова З.Н. Ўзбекистонда электр энергияси нархларини ошириш ва табақалаштирилган таърифни жорий этишга оид таҳлилий хулосалар. Фар ПИ илмий техникавий журнали. ФарПИ: 2024. №10. 86 – 91 б.
7. Sadullayev N.N., G'ofurov M.O., Ne'matova Z.N. Яшил energetikani rivojlantirishni rag'batlantirishning me'yoriy ko'rsatkichlarini ishlab chiqish // Yashil iqtisodiyot va taraqqiyot. Ijtimoiy, iqtisodiy, texnologik, ilmiy, ommabop jurnal. Maxsus son: iyun-iyul. Toshkent, 2024. 99 – 107 b.

ТЕХНОЛОГИК ЖИҲОЗЛАР ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯ ИСТЕЪМОЛИ ИШ РЕЖИМЛАРИ

Мақолада саноат корхоналари технологик жиҳозлари иш режимларини тўғри танлаш орқали электр энергиядан оқилона фойдаланиш масалалари кўриб чиқилган. Технологик жиҳозлар иш режимлари асосан қуйидагиларга бўлинади, яъни, оптимал режим, нормал режим, вақтинчалик ишлаш режими, профилактик режим ва автоматлаштирилган режим. Ушбу технологик жиҳозларнинг иш режимларини ўрганиш ва таҳлил қилиш натижасида, электр энергия истеъмолини камайтириш имкониятига эришилганлиги ёритиб берилган. Шу билан бирга саноат корхоналари технологик жиҳозларининг асосий иш режимлари математик моделлари таҳлил қилинган. Жумладан, иш режимларининг ҳар бири учун тегишли моделлаштириш бўйича ёндашувлари тақдим этилган. Ҳар бир иш режимининг техник-иқтисодий хусусиятлари ва ишлаш шароитлари ҳисобга олинган ҳолда, уларнинг математик моделлари тузилган. Технологик жараёнларни аниқ ва самарали бошқаришда математик моделлардан фойдаланиш орқали энергия сарфини камайтириш, ишлаб чиқариш самарадорлигини ошириш ва жиҳозларнинг ишончилигини таъминлаш мумкин. Ушбу натижалар амалиётда автоматлаштириш ва оптималлаштириш жараёнларини такомиллаштириш учун асос бўлиб хизмат қилади.

Калит сўзлар: саноат корхоналари, электр энергия истеъмоли, технологик жиҳозлар, нормал режим, автоматлаштирилган режим, оптимал режим, вақтинчалик ишлаш режими, профилактик режими, математик моделлар, энергия сарфи, самарадорликни ошириш.

Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадилов, Х.У. Юсупалиева

Режимы работы потребления электроэнергии технологическим оборудованием

В статье рассматриваются вопросы рационального использования электроэнергии путем выбора правильных режимов работы технологического оборудования промышленных предприятий. Режимы работы технологического оборудования, в основном, подразделяются на оптимальный, нормальный, профилактический, автоматизированный режим временной эксплуатации. В результате изучения и анализа режимов работы данных технологических устройств отмечено, что достигнута возможность снижения потребления электроэнергии. При этом были проанализированы математические модели основных режимов работы технологического оборудования промышленных предприятий. В частности, представлены соответствующие подходы к моделированию для каждого из режимов работы. С учетом технико-экономических характеристик и условий эксплуатации каждого режима работы создаются их математические модели. Установлено, что, используя математические модели для точного и эффективного управления технологическими процессами, можно снизить энергопотребление, повысить эффективность производства и обеспечить надежность оборудования. Обосновано, что эти результаты служат основой для совершенствования процессов автоматизации и оптимизации на практике.

Ключевые слова: промышленные предприятия, электропотребление, технологическое оборудование, нормальный режим, автоматизированный режим, оптимальный режим, временный режим работы, профилактический режим, математические модели, энергопотребление, повышение эффективности.

F.A. Xoshimov, K.Sh. Kadirov, H.U. Yusupaliyeva

Operating modes of electricity consumption technological equipment

The article considers the issues of rational use of electric power by selecting the correct operating modes of technological equipment of industrial enterprises. Operating modes of technological equipment are mainly divided into the following: optimal mode, normal mode, temporary operation mode, preventive mode and automated mode. As a result of studying and analyzing the operating modes of these technological devices, it was noted that the possibility of reducing energy consumption was achieved. At the same time, mathematical models of the main operating modes of technological equipment of industrial enterprises were analyzed. In particular, the corresponding approaches to

modeling for each of the operating modes are presented. Taking into account the technical and economic characteristics and operating conditions of each operating mode, their mathematical models are created. Using mathematical models for accurate and efficient control of technological processes, it is possible to reduce energy consumption, increase production efficiency and ensure the reliability of equipment. These results serve as a basis for improving automation and optimization processes in practice.

Keywords: industrial enterprises, power consumption, technological equipment, normal mode, automated mode, optimal mode, temporary operation mode, preventive mode, mathematical models, energy consumption, increasing efficiency.

Саноат корхоналарида технологик жиҳозлар иш режими ва уларнинг самарадорлигини ошириш бўйича масалалар, одатда, ишлаб чиқариш жараёнларининг самарали ташкил этилиши, энергия ресурсларидан оқилона фойдаланиш, автоматлаштириш даражасини ошириш ва техник хизмат кўрсатиш тизимини такомиллаштириш орқали ҳал этилади. Технологик жиҳозлар иш режимини оптималлаштиришда жиҳозлар иш режимига тааллуқли маълумотларни йиғиш (иш унумдорлиги, энергия сарфи, ишлаш цикли) ва таққослаш орқали энг кам самарадорликка эга бўлган жараёнларни аниқланади. Технологик жиҳозларнинг оптимал режимини ўрганишда жиҳозларнинг иш вақтини режа асосида ташкил этиш ва иш соатларини сменаларга бўлиш ҳамда тизимли диагностика орқали носозликлар вақтида аниқлаш ва тезда бартараф этиш самарадорликни ошириш имкониятини яратади [1 – 6].

Технологик жиҳозлар электр энергия истеъмол қилишда оптимал иш режими — бу электр энергиясини самарали ва кам сарфи билан ишлаб чиқариш жараёнини таъминлайдиган иш режими ҳисобланади. Ушбу режимнинг асосий мақсади жиҳозлардан энергия сарфини минималлаштириш ва ишнинг барқарорлигини таъминлаш ҳисобига самарадорликни оширишдир.

Саноат корхоналарида технологик жиҳозлар қуйидаги иш режимлари асосида ишлайди:

- нормал;
- вақтинчалик;
- профилактик;
- автоматлаштирилган;
- оптимал [7 – 9].

Нормал иш режими – бу режимда жиҳозлар ва ускуналар бир хил юклама билан ишлайди. Жараёнлар белгиланган стандартларга ва меъёрларга асосан амалга оширилади. Бу иш режимида ишлаб чиқаришнинг барча босқичлари ишончли равишда амалга оширилади.

Нормал иш режимида технологик жиҳозлар ва ускуналар ишлашининг асосий ва стандарт тартиби бўлиб, ишлаб чиқариш жараёни барқарор, самарали ва хавфсиз ҳолда амалга оширилишига асос бўлади. Бу режимда **барча кўрсаткичлар меъёрларга мувофиқ бўлади**. Жиҳозлар ишлатилишида ҳар бир технологик **кўрсаткич** (ҳарорат, босим, ишлаш тезлиги, кучланиш ва ҳ.к.) стандартларга мувофиқ бўлади. Ушбу **кўрсаткичлар** ишлаб чиқаришнинг белгиланган талабларига асосан ҳисобланади.

Нормал иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикаси, иш жараёнида жиҳозлар ишлаган ҳолда, электр энергиясининг сарфланишини таъминлайди. Нормал иш режимида, технологик жиҳозлар белгиланган иш режимида фаолият кўрсатади ва энергия истеъмоли одатда доимий ёки аниқ бир циклга асосланади. Бу динамика одатда юқори самарадорлик ва энергия сарфини минималлаштиришга йўналтирилган.

Нормал иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикасининг асосий хусусиятлари қуйидагилардан иборат.

1. **Доимий энергия сарфи.** Нормал иш режимида жиҳозлар ёки ускуналарнинг ишлаш давомида энергия сарфи одатда стабил ва доимий бўлади. Агар ускуналарнинг ишлаш муддати ва иш шартлари стандарт бўлса, энергия сарфининг барқарорлигини таъминлайди.

2. **Технологик жараённинг барқарорлиги.** Технологик жиҳозлар белгиланган режимга мувофиқ ишлашни давом эттирса, энергия сарфи ҳам барқарор бўлади. Бунинг натижасида энергия сарфида узлуксизликлар ёки катта ўзгаришлар кузатилмайди.

3. **Энергия сарфининг аниқ цикли.** Жиҳозларнинг ишлаш тартибига кўра, энергия сарфи ҳар бир циклда аниқ бўлиши мумкин. Масалан, агар ускуна циклга асосланган иш режимида ишласа, ҳар бир циклнинг бошида энергия истеъмоли максимал бўлиши, кейин эса пастлаши мумкин.

Бир сменада фаолият олиб борувчи корхона технологик жиҳозлари турли хил иш режимлари асосида электр энергия истеъмоли таҳлил қилиб чиқилди (1-жадвал).

1-жадвал

Бир сменада фаолият олиб борувчи корхона технологик жиҳозлари турли хил иш режимлари асосида электр энергия истеъмоли

Вақт	Электр энергия истеъмоли кВт·соат	Изоҳ
1	2	3
<i>Нормал иш режими</i>		
08:00	800	Жараён бошланиши, ускуналарнинг ишга тушиши
09:00	900	Барқарор ишлаш, энергия сарфи деярли ўзгармайди
11:00	850	Технологик жараён давом этмоқда
12:00	1000	Максимал ишлаш вақти, энергия сарфи юқори
14:00	950	Жараённинг барқарор даври, энергия сарфи камаймайди
16:00	900	Ишнинг барқарор олиб борилиши, энергия сарфи камаймайди
18:00	800	Иш вақти тугаши, энергия сарфи пасаяди
<i>Вақтинчалик иш режими</i>		
08:00	700	Жараён бошланди, ускуна фаолият кўрсатмоқда
09:00	600	Вақтинчалик иш режимида, энергия истеъмоли пастаймоқда
11:00	500	Техник хизмат ва профилактика даври, энергия сарфи камаяди
13:00	400	Жараённинг барқарор даври, тўхташлар ёки таъмирлаш ишлари
15:00	700	Ишлаб чиқариш жараёни қайтадан бошланди
17:00	600	Технологик жараён тўхтатилиши ёки қайта ишлаш
18:00	400	Профилактика ёки техник хизматлар давомида

1-жадвал давоми

1	2	3
<i>Профилактик иш режими</i>		
08:00	800	Жараён бошланди, ускуна ишламоқда
09:00	600	Профилактика учун техник хизмат бошланди, энергия сарфи пастаяди
11:00	500	Техник хизмат даври, ускуна ишлашни камайтирмоқда
13:00	200	Техник хизмат ёки профилактика, энергия сарфи минимал
15:00	300	Жараён қайта бошланди, ускуна ишлашни қайта тиклайди
17:00	700	Профилактикадан сўнг ишлаш қайта тикланди
18:00	800	Барқарор иш режимига ўтиш, энергия сарфи ўзгаришларсиз
<i>Автоматлаштирилган иш режими</i>		
08:00	900	Автоматик тизим ишни бошлади, энергия истеъмоли юқори
09:00	850	Энергия сарфи камайишни бошлади, ишлаш нормаллашмоқда
11:00	800	Жараён барқарор, энергия истеъмоли анча пастаймоқда
13:00	700	Автоматик тизим ишлашни оптималлаштирмоқда, энергия сарфи камаяди
15:00	750	Ишламақда бўлган ускуналарнинг фаолияти камайган
17:00	800	Жараённинг тўлиқ ишлаши, энергия истеъмоли ортади
18:00	850	Автоматлаштирилган тизимда энергия истеъмоли юқори
<i>Оптималь иш режими</i>		
08:00	850	Ишнинг бошланиши, юқори энергия истеъмоли
09:00	780	Ишлаш режимининг тўғри тартибга солиниши
11:00	750	Барқарор ишлаш, энергия сарфи камаяди
13:00	700	Профилактикадан сўнг энергия истеъмоли пастайиши
14:00	710	Истеъмолнинг тартиб бориши
15:00	720	Янги режимга ўтиш, энергия сарфи камайиш
17:00	780	Ишлашнинг юқори босқичи, энергия истеъмоли аниқ тартибда

Технологик жиҳозлар тури ва уларнинг энергияга бўлган талабидан келиб чиқиб, жиҳозлар тури ҳам энергия истеъмолининг динамикасини белгилайди. Агар жиҳозлар юқори энергия талабига эга бўлса, уларнинг энергия истеъмоли юқори бўлади, акс ҳолда ускуналарнинг энергия истеъмоли пастроқ бўлиши мумкин.

Нормал иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикасининг асосий ишлаш давлари бу технологик жиҳозлар ишлаган пайтда уларнинг энергия истеъмоли ҳар бир ишлаш циклига боғлиқлигидадир. Агар жиҳозлар 24 соат ишласа, энергия истеъмоли барқарор ва мунтазам бўлади. Баъзи жиҳозлар ёки жараёнлар қўшимча энергия истеъмол қилишга боғлиқ ҳолда ишлайди.

Нормал иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилишнинг афзалликлари. Бу нормал иш режимида энергия сарфи аниқ ва барқарор бўлади. Бу иш жараёнининг самарали бошқарилиши ва электр энергиясини оптимал ишлатишга ёрдам беради.

Жиҳозлар нормал ишлаш шартларида самарали энергия сарфлашга ёрдам беради. Бу корхона учун иқтисодий манфаатлар, масалан, энергия сарфи

камайишига олиб келади. Нормал иш режими билан бошқариладиган технологиялар учун энергия истеъмоли юқори самарадорликка эга бўлади.

Нормал иш режимида электр энергиясини истеъмол қилиш динамикаси иш жараёнини оптималлаштириш ва сарфланишни камайтириш учун ёрдам беради.

Вақтинчалик иш режими – бу режимда технологик жиҳозлар вақтинча ишлайди ва бошқа вақтларда тўхтатилади ёки тиклаш учун вақтинча ўчирилади. Бунда, жиҳозлар тўғри ишлашни қайта тиклаш ёки жараён бошқа ҳолатга ўтказилади. Ишлаб чиқариш жараёни технологик жиҳозларда номутаносиблик ёки ишлаб чиқаришнинг самарадорлигига таъсир қилган ҳолатларда паст тартибда ишлайди.

Вақтинчалик иш режимда (масалан, авария ҳолатлари, таъмирлаш ва бошқалар учун) технологик жиҳозларнинг электр энергиясини истеъмол қилишнинг вақт билан ўзаро боғлиқлиги тушинилади. Вақтинчалик иш режимида жиҳозлар нормал иш режимидан фарқли ҳолда, ускуналарнинг энергияга бўлган талаби ва иш шароитлари ўзгариши мумкин.

Вақтинчалик иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикасининг асосий хусусиятлари энергия истеъмолининг ўзгариши бўлади. Вақтинчалик иш режимида электр энергиясининг истеъмоли, одатда, нормал иш режимига нисбатан ўзгариб туради. Ускуналарнинг ишлаш шароити, авариялар ёки таъмирлаш жараёнлари энергия талабларини ошириши ёки камайтириши мумкин.

Вақтинчалик иш режимида энергия сарфи нормага қараганда ёмонлашади, яъни, ускуналарнинг ишлашини тиклаш вақтида энергия истеъмоли ошишига сабаб бўлади.

Вақтинчалик иш режими технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикасининг асосий элементларида тўхташ ва техник хизматлар вақтида истеъмолнинг пасайиши кузатилади. Масалан, техник хизматлар, профилактикалар ёки авария туфайли иш жараёни тўхтатилганида, энергия сарфи анча пасаяди, бу ҳолат 1-расмда келтирилган графикда 11:00 дан 13:00 вақт оралиғида акс этганини кўриш мумкин. Бундай ҳолатда баъзи жиҳозлар энергия истеъмолини максималлаштиришга ёки минималлаштиришга мажбур бўлади.

Профилактик иш режими – бу ҳолатда жиҳозлар ёки ускуналар текширилади, таъмирланади ёки профилактик хизмат кўрсатилади. Технологик жиҳозларнинг ишлаш ҳолати мониторинг қилинади ва уларнинг ишлаш давомида барча жиҳозлар ишлатишга ёки таъмирлашга талаб юқори бўлади. Жиҳозлар муаммоларга ёки ишдаги ёки амалиётдаги кичик хатоликларга олиб келса, улар тўлиқ текширув ва қайта тиклашни талаб қилади.

Профилактик иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикаси — бу технологик жиҳозлар профилактика ёки техник хизмат кўрсатиш даврида электр энергиясининг истеъмол қилинишини англатади. Профилактик иш режимида жиҳозлар ишламаган ёки қисман ишлаши мумкин, шунинг учун электр энергиясининг истеъмоли, одатда, паст ва баъзи ҳолларда минимал бўлади.

Профилактик иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикасининг техник хизмат ва профилактика жараёнлари жиҳозлар ишлаш вақтидан тўхташи мумкин. Бу вақтда жиҳозларнинг иш тури ва фаолиятнинг камаяди. Профилактика ёки техник хизмат даврида жиҳозлар кам ишлайди ёки тўлиқ тўхтади, натижада энергия истеъмоли камаяди. Бу, ўз навбатида, энергия сарфини оптимизация қилишга ёрдам беради.

Автоматлаштирилган иш режими – бу режимда технологик жараёнлар автоматик контрол ёки таҳлил қилиш тизими орқали бошқарилади. Бундай режимлар тўғридан-тўғри роботлар ёки дастурлар томонидан амалга оширилади.

Саноат корхоналари технологик жиҳозлари иш режимлари одатда белгиланган иш муҳити орқали ишлашга боғлиқ муаммолар ва ишлаб чиқариш жараёнини самарали ҳамда хавфсиз олиб бориш учун муҳим аҳамиятга эга.

Автоматлаштирилган иш режимида энергия истеъмоли аниқ мониторинг қилинади. Бу мониторинг тизими орқали энергия истеъмолининг ўзаро боғлиқликлари ва тўғри равишда бошқаришни таъминлаш мумкин. Ушбу режимда жиҳозлари маълум ҳолатларда фаолиятни ўзгартиради.

Автоматлаштирилган иш режимида технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилиш динамикаси жиҳозлар фаолиятига қараб энергия истеъмолини самарали ва минималлаштирилган ҳолда таъминлайди. Автоматик тизимлар жиҳозларини тез ва аниқ назорат қилишга имкон беради. Автоматлаштириш орқали энергия сарфи пасаяди. Ҳар қандай вақтида автоматик равишда энергия сарфини оптималлаштириш ва камайтириш мумкин.

Оптимал иш режимида энергия сарфини тўғри тақсимлаш лозим. Бу режимда ҳар бир жиҳознинг ишини мунтазам равишда тартибга солиш ва энергия сарфига таъсир қилувчи омиларни бартараф қилиш керак.

Технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилишда оптимал иш режимига қуйидаги талаблар қўйилади.

Режимларнинг интеграцияси. Жиҳозлар ўз фаолиятини энергия сарфига таъсир қилишнинг ҳар бир босқичида интеграция қилиш учун турли режимлар (нормал, вақтинчалик, профилактик, автоматлаштирилган) билан мослашиши керак. Бу орқали жиҳозлар самарали ишлаш учун минимал энергия сарфини таъминлайди. Технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилишда оптимал иш режими автоматик мониторинг орқали таъминланиши керак. Бу тизим жиҳозларнинг энергия сарфини аниқлашга ва ишлаш режимларини тўғри тартибга солишга ёрдам беради.

Бир сменада ишлайдиган корхонада электр энергияси сарфини назорат қилиш бу технологик жиҳозлар энергия сарфи мониторингидан ўтиш керак. Яъни доимий мониторинг иш даврларига мос равишда энергия сарфини оптимал тақимлашда ёрдам беради.

Тизимнинг мослашувчанлиги жиҳозларнинг ишлаш муҳитига ва ишлаб чиқариш талабларига мослашувчанлигини таъминлаш керак. Бунинг натижасида энергия сарфини камайтириш ва ишлаш тизимини барқарор сақлашга ёрдам беради.

Оптимал иш режимининг афзалликлари жиҳозлар энергия сарфини самарали тартибда бошқаради ва тўғри режимлар орқали минимал сарфга эришиш имкониятини яратади. Жиҳозлар турли ҳолатларга мослашиб, ишлаш барқарорлигини таъминлайди, бу ишлаб чиқариш жараёнининг узлуксизлигини таъминлайди. Автоматлаштириш орқали самарадорлик оширилади, яъни автоматик мониторинг ва бошқариш тизимлари орқали жиҳозлар ишлаш режими самарали ва энергия сарфига таъсир этувчи омиларни аниқлашга ёрдам беради.

Юқорида кўриб чиқилган бир сменада фаолият олиб боровчи корхона технологик жиҳозлари турли хил иш режимлари асосида электр энергия истеъмол графиги шакллантирилди (расм).

Юқорида келтирилган технологик жиҳозларнинг иш режимларини тавсифлаш учун қуйидаги математик моделдан фойдаланилади [10 – 11]:

Нормал иш режими – стационар модел

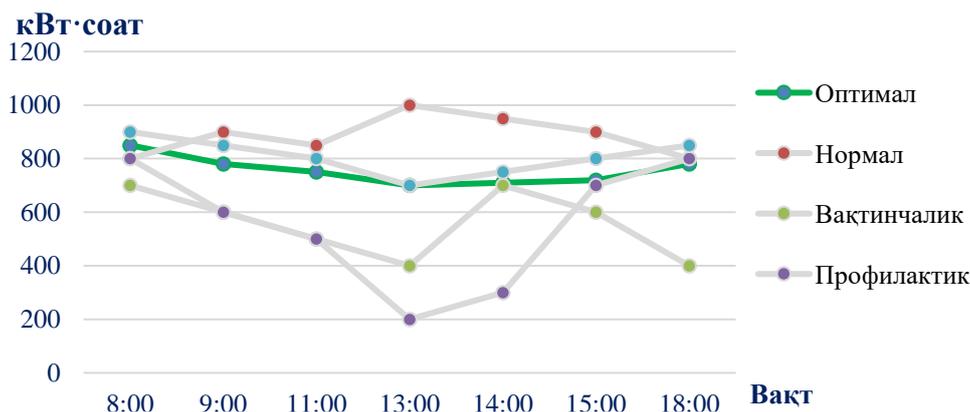
$$P(t) = P_0 \text{ ва } Q(t) = Q_0. \quad (1)$$

Бу ерда $P(t)$ – вақт бўйича қувват сарфи (кВт); $Q(t)$ – маҳсулот ишлаб чиқариш хажми (кг/соат); P_0, Q_0 – доимий қийматлар. Бу режимда тизим **барқарор ҳолатда** ишлайди, ўзгаришлар йўқ.

Вақтинчалик иш режими – дискрет ёки импульсли модел

$$P(t) = \begin{cases} P_1, & t_1 \leq t \leq t_2 \\ 0 & \text{бошқа ҳолларда} \end{cases} \quad (2)$$

бу ерда $P(t)$ – қувват сарфи; t_1, t_2 – вақтинчалик ишлаш интервали; P_1 – иш пайтидаги қувват сарфи. Қурилма фақат маълум вақт оралиғида ишлайди (масалан: 100–110 дақиқа), қолган вақтда ишламайди.



Бир сменада фаолият олиб боровчи корхона технологик жиҳозлари турли хил иш режимлари асосида электр энергия истеъмол графиги

Профилактик режим – ишончилилик моделлари

$$R(t) = R_0 \cdot e^{-\gamma t}, \quad (3)$$

бу ерда $R(t)$ – ишончилилик функцияси (тизим қанчалик ишончли); γ – носозлик юз бериши эҳтимоли (интенсивлик коэффиценти). Қурилмалар вақт ўтиши билан эскиради; профилактика носозлик эҳтимолини камайтиради.

Автоматлаштирилган режим – бошқарув тизими модели янъи автоматик бошқарувда ишлатиладиган интеллектуал бошқарув алгоритми (PID)

$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int e(t) dt + k_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (4)$$

бу ерда $u(t)$ – бошқарув сигнали; $e(t)$ хатолик (зарурий ва ҳақиқий қиймат фарқ); k_p, k_i, k_d – PID коэффиценти. Бошқарув тизими хатоликка қараб тўғрилаш киритади (масалан: кучланиш, частота, ва бошқа).

Оптимал иш режими – оптималлаштириш модели

а) Модель (мақсадли функция):

$$E_{min}(x) = a_1 P(x) + a_2 T(x) + a_3 C(x). \quad (5)$$

Чегаравий шартлар билан:

$$Q_x \geq Q_{min}; P(x) \leq P_{max}; x \in X,$$

бу ерда $E_{min}(x)$ – умумий харажат (энергия, вақт, нарх); $P(x), T(x), C(x)$ – қувват, вақт, харажат функциялари; a_1, a_2, a_3 – ҳар бир омилга берилган коэффиценти. Бу модел самарадорликни ошириш учун энг мақбул параметрларни танлашга ёрдам беради. Шунинг учун ишлаб чиқариш жараёнида автоматлаштириш, мунтазам техник хизмат кўрсатиш ва инновацион ечимлардан фойдаланиш самарадорликни оширишнинг энг самарали усуллари хисобланади.

Технологик жиҳозларнинг иш режимларининг математик ёндашувларини таққослаш

Иш режими	Математик модел тури
Нормал	Доимий қийматли (стационар) модел
Вақтинчалик	Импульсли / вақтга боғлиқ функция
Профилактик	Ишончилиқ функцияси (экспоненциал)
Автоматлаштирилган	PID бошқарув модели
Оптималь	Оптимальлаштириш (мақсадли функция)

Хулоса қилиб айтганда, технологик жиҳозлар электр энергиясини истеъмол қилишда оптималь иш режими — бу энергия сарфини минималлаштириш, ишлаш самарадорлигини ошириш ва ишлаб чиқариш жараёнини барқарорлаштиришга қаратилган режимдир (2-жадвал). Автоматлаштирилган бошқарув тизимлари, профилактика ва техник хизмат кўрсатиш орқали энергия сарфини тўғри бошқариш имконияти яратилади.

Саноат корхоналарида технологик жиҳозларнинг ишончили, самарали ва барқарор ишлаши ишлаб чиқариш унумдорлиги ҳамда энергия самарадорлигига бевосита таъсир кўрсатади. Бундай ускуналар бир нечта иш режимларида фаолият юритади: **нормал, вақтинчалик, профилактик, автоматлаштирилган** ҳамда **оптималь иш режимлари**. Ҳар бир иш режими ўзининг техник-маъмурий мақсади, иш вақти ва энергия сарфи бўйича хос хусусиятларга эга.

Саноат корхоналари технологик жиҳозлар иш режимлари таҳлили асосида самарадорликни оширишда технологик жиҳозларнинг **иш режимларини математик моделлаштириш ёндашувларини қўллаш** орқали **ишлаб чиқариш самарадорлиги ошади, энергия тежаллади, харажатлар камаяди, жиҳозлар узокроқ муддат ишлайди ва асосийси маҳсулот сифати юқори бўлади**.

ФЙДАЛАНИЛГАН АДАБИЁТЛАР

1. Хашимов Ф.А. Оптимизация использования энергоресурсов в текстильной промышленности. Ташкент, 2005. – 250 с.
2. Xoshimov F.A., Kadirov K.Sh., Kushev A.P., Yusupaliyeva X.U. Technological process and laws of change of energy consumption parameters of spinning enterprises // E3S Web of Conferences 497, 01013. 2024. ICECAE 2024 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449701013>.
3. Xoshimov F.A., Kadirov K.Sh., Yusupaliyeva X.U., Azimova K.S. To'qimachilik korxonalarida yillik elektr energiya iste'molining yuklama grafiklarini shakllantirish // Proceedings of International Conference on Modern Science and Scientific Studies Hosted online from Paris, France. Date: 19th October – 2024. P. 126 – 130.
4. Xoshimov F.A., Kadirov K.Sh., Yusupaliyeva X.U., Azimova K.S. Elektr energiya iste'molining yuklama grafiklarini shakllantirish imkoniyatlari // Proceedings of International Scientific Conference on Multidisciplinary Studies Hosted online from Moscow, Russia 11th October – 2024. ISSN: 2835-5733. P. 333 – 337.
5. Хошимов Ф.А., Кадиров К.Ш. Нормирование энергоресурсов на предприятиях по переработке сельскохозяйственной продукции с современным технологическим оборудованием. «PUBLISHING HIGH FUTURE». Ташкент, 2024. С. 105.

6. Кадиров К.Ш. Энергия самарадорлигини оширишда технологик жиҳозлар иш режимларини оптималлаштириш // “Энергетика ва энергия тежаш муаммолари” республика илмий-амалий анжумани. Тошкент, 2025. 385–388б.
7. Кадиров К.Ш. Технологик жиҳозлар иш режимини ўзгартириш ҳисобига энергия самарадорлигини ошириш// “Энергетика ва энергия тежаш муаммолари” республика илмий-амалий анжумани. Тошкент, 2025. 397–400б.
8. Хошимов Ф.А., Дзевенцкий А.Я., Ибрагимов К.Х. Метод анализа и расчета энергоемкости продукции предприятий, использующих комплексную электрическую энергию и энергию вторичных энергоносителей. М.: Промышленная энергетика, 2001. №4.
9. Гуляев В.С. Энергосбережение в промышленности. М.: Энергоатомиздат, 2010.
10. Джабаров Ш. Т. Саноатда энергия тежаш технологиялари. Тошкент: Fan va texnologiya nashriyoti, 2019.
11. Xoshimov F.A., Kadirov K.Sh., Yusupalieva X.U. Sanoat korxonalari texnologik jihozlari ish rejimini optimallashtirish // International Conference on economics, finance, Banking and management Paris, France. Date: 24th March – 2025. P. 124 – 129.

ЎЗР ФА Энергетика муаммолари институти

04.04.2025

кабул қилинган

УДК 621.316

Ш.В. ХАМИДОВ, Р.М. ТАНИРБЕРГЕНОВ, Б.Р. НОРМУРАТОВ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПОМОЩЬЮ УСТРОЙСТВ FACTS

В статье рассматриваются вопросы режимной управляемости электроэнергетическими системами на базе применения устройств гибких управляемых систем электропередачи FACTS. Приведены примеры расчетов установившихся режимов 32-узловой тестовой схемы. Выполнен анализ эффективности установки устройств STATCOM и SVC в отдельных узлах сети. Результаты моделирования показывают снижение потерь активной мощности и улучшение качества параметров режима в критических узлах сети. Предложенные решения способствуют более надежной и гибкой работе энергосистемы в условиях переменных нагрузок и генерации при масштабном внедрении возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: энергосистема, FACTS, STATCOM, SVC, устойчивость сети, реактивная мощность, потоки мощности.

Ш.В. Хамидов, Р.М. Танирбергенов, Б.Р. Нормуратов

FACTS қурилмалари ёрдамида электр тармоғидаги қувват йўқотишларини оптималлаштириш

Мақолада FACTS электр узатишнинг мослашувчан бошқариладиган тизимлари қурилмаларидан фойдаланган ҳолда электр энергетика тизимларининг режимли бошқаруви масалалари кўриб чиқилган. 32-туғунли тест схемасининг устувор режимлари учун ҳисоблаш мисоллари келтирилган. Тармоқнинг айрим тугунларига STATCOM ва SVC қурилмаларини ўрнатиш самарадорлиги таҳлил қилинган. Моделлаштириш натижалари актив қувват йўқотишларининг камайиши ва тармоқнинг танланган тугунларида режим параметрларининг яхшиланишини кўрсатмоқда. Таклиф этилган ечимлар ўзгарувчан юклама ва генерация

шароитида, қайта тикланувчи энергия манбаларининг кенг қўламда жорий этилиши шароитида, энергетика тизимининг ишончли ва мослашувчан ишлашни таъминлайди.

Калит сўзлар: энергия тизими, FACTS, STATCOM, SVC, тармоқ барқарорлиги, реактив кувват, кувват оқими.

Sh.V. Khamidov, R.M. Tanirbergenov, B.R. Normuratov

Optimization of Power losses in the Electrical Grid using FACTS devices

The article addresses the issues of operational controllability of power systems based on the application of Flexible AC Transmission Systems devices. Steady-state operation simulations were conducted using a 32-bus test network. The effectiveness of installing STATCOM and SVC devices at selected nodes of the network was analyzed. The simulation results demonstrate a reduction in active power losses and an improvement in operating parameters at critical nodes. The proposed solutions contribute to more reliable and flexible operation of the power system under variable load and generation conditions, especially in the context of large-scale integration of renewable energy sources.

Keywords: power system, FACTS, STATCOM, SVC, grid stability, reactive power, power flow

Быстрое экономическое развитие республики приводит к росту динамики потребления электроэнергии, что ведет к увеличению потребности в электроэнергии и требует увеличения как базовой, так и маневренной мощности. На современном этапе в энергетическом секторе Узбекистана предусматривается поэтапный переход отраслей топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в высокотехнологичной инфраструктуре.

Однако планируемый рост потребления электроэнергии, нехватка вновь вводимых новых мощностей и сложные условия для их строительства и эксплуатации, а также производство электроэнергии от возобновляемых источников энергии (ВИЭ) приводит к проблеме балансирования и регулирования энергетической системы.

Рост генерации от солнечных электростанций (СЭС) и ветряных электростанций (ВЭС), работа которых зависит от погодных условий и которые имеют переменную генерацию, требует надежные базовые и маневренные мощности для обеспечения стабильности сети.

Маневренная мощность энергосистемы – это резервные мощности, которые могут быть быстро активированы или деактивированы в ответ на изменения в потреблении электроэнергии. Они необходимы для поддержания стабильности частоты в энергосистеме в условиях изменения спроса и предложения.

Для интеграции ВИЭ необходимо наличие систем накопления энергии (СНЭ) для балансировки сети. Даже при наличии достаточных генерирующих мощностей в отдельных регионах их передача к потребителям может быть ограничена из-за нехватки соответствующих линий электропередач и трансформаторных подстанций.

Неравномерный характер потребления электроэнергии в суточном разрезе требует оперативного изменения режима работы электрических станций. Однако существующие регулировочные возможности действующих электростанций приводят к появлению дефицита мощности.

Для покрытия пиковых нагрузок целесообразно использовать гидроэлектростанции и газотурбинные электростанции (ГТЭС), которые могут запускаться и достичь полной мощности в течение 10–30 минут, при необходимости ГТЭС способны быстро снижать мощность [1 – 10].

В индустриально развитых странах активно создаются активно-адаптивные сети, получившие название «Умные сети» (SmartGrid). Основу SmartGrid

составляют устройства технологии управляемых систем электропередачи переменного тока, называемых по терминологии IEEE, как Flexible Alternstive Carent Transmission Systems (FACTS) [2 – 19].

Техническая обоснованность использования различных устройств FACTS определяется расчетами установившихся режимов, устойчивости работы энергосистемы и переходных процессов при различных возмущениях в энергосистеме.

Важность регулирования потока мощности в энергосистеме заключается в обеспечении оптимального распределения нагрузки между линиями электропередачи, снижении перегрузок и минимизации потерь энергии. Неконтролируемое распределение потоков мощности может привести к неравномерной загрузке линий, снижению устойчивости системы и, в критических случаях, к аварийным ситуациям.

Устройства FACTS позволяют управлять потоком мощности за счет изменения параметров сети, таких как сопротивление, угол напряжения и уровень реактивной мощности. Например, статические компенсаторы (SVC, STATCOM) регулируют напряжение в узлах сети, тем самым влияя на распределение реактивной мощности.

Серийные компенсаторы (TCSC, SSSC) изменяют эквивалентное сопротивление линии, управляя потоками активной мощности. Более сложные устройства, такие как UPFC (универсальный контроллер потока мощности), способны одновременно регулировать напряжение, угол напряжения и поток активной мощности, обеспечивая максимальную гибкость в управлении энергосистемой (рис. 1).

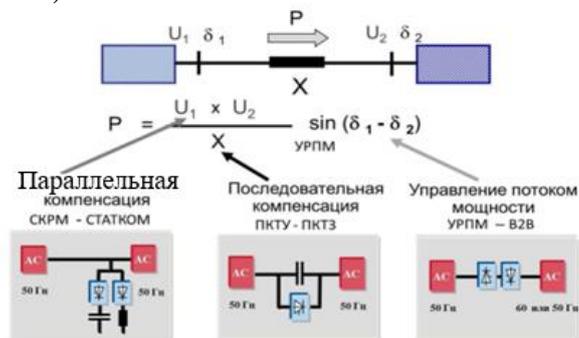


Рис. 1. Регулирование потока мощности в электрической сети

На рис. 2, соответствующем рис. 1, показана векторная диаграмма соотношения между активным и реактивным токами относительно напряжений на концах линии ЛЭП (здесь ЛЭП рассматривается как система с сосредоточенными параметрами).

Как следует из рис. 2, для управления каким-либо из параметров U_1 , U_2 , U_1-U_2 , X , δ или их одновременным управлением необходимы быстродействующие исполнительные элементы, чтобы не нарушить условия статичности электроэнергетических систем (ЭЭС). В противном случае вступают в силу динамические свойства электроэнергетических систем и линия электропередач (ЛЭП) будет использоваться лишь до уровня гораздо более низкого, чем уровень, соответствующий 90° . Последнее необходимо для поддержания достаточного запаса устойчивости [19].

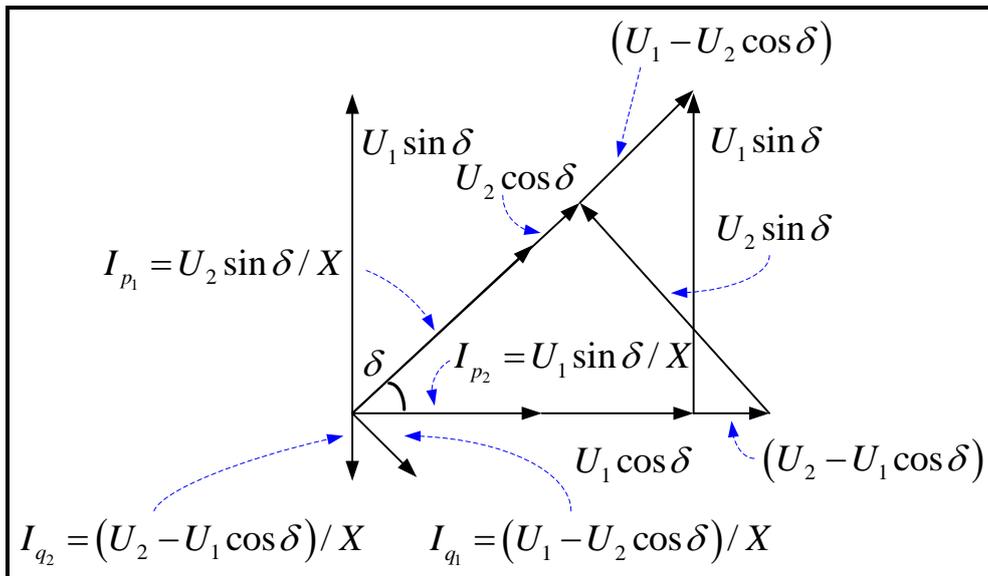


Рис. 2. Векторная диаграмма токов и напряжений

Чтобы найти оптимальное место установки в энергосистеме устройства FACTS, необходимо рассчитать установившийся режим электрической сети. Для решения этой задачи был выбран метод Ньютона. Для численного решения нелинейных узловых (УУ) в установившихся режимах применяются разнообразные итерационные подходы. Их условно можно разделить на четыре категории: методы с непосредственной итерацией; методы, в которых на каждом этапе выполняется линеаризация нелинейных (такие как метод Ньютона, градиентный метод и другие) посредством использования якобиана (УУ) [14 – 19].

Для анализа работы устройств STATCOM и SVC принята 32 - узловая тестовая схема, представленная на рис. 3 – 5. Для технической оценки проводится серия расчётов для максимальных и минимальных режимов работы сети до внедрения устройств FACTS и после. Параметры сети вводятся в программу расчета УУ для расчета режимов сети в декартовых координатах (табл. 1). Параметры установившегося режима тестовой схемы сети получены после решения УУ (в табл. 2 приведены общие потери и узлы, где колебания параметров максимальны). В зависимости от типа возмущения подбирается устройство FACTS.

В условиях нагрузки положение и мощность устройств FACTS определяются величиной напряжения на шинах нагрузки и необходимой реактивной мощностью этих шин. Место установки и мощность устройств FACTS имеют решающее значение, особенно с экономической точки зрения.

Кроме того, решающее значение для технической части всей энергосистемы имеет оптимальное функционирование и управление этими устройствами. Размещение и мощность контроллеров FACTS рассчитываются путем оценки величины и колебаний реактивной мощности в перегруженной среде. Это помогает гарантировать, что контроллеры будут размещены в наилучших возможных местах [16 – 18].

Анализ расчётов показывает, что 5 -й и 13-й узлы имеют наибольшее отклонение. Потери мощностей и изменения напряжения показывают, что соответственно установки STATCOM в узел 5, а SVC – в узел 13 уменьшают колебания напряжения, сокращают потери мощностей и действуют как

устройства быстрого реагирования для поддержания устойчивости электрической сети (см. рис. 4, 5).

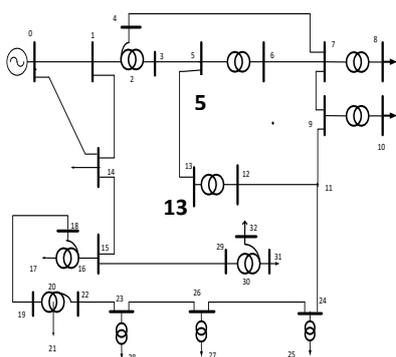


Рис. 3. Схема 32 -узловой электрической сети без FACTS

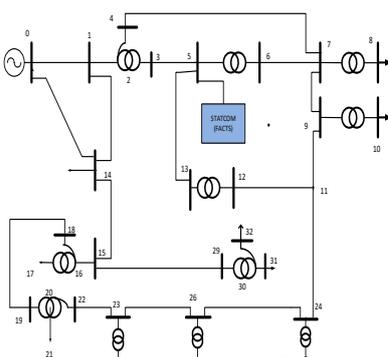


Рис. 4. Схема 32 -узловой электрической сети с STATCOM

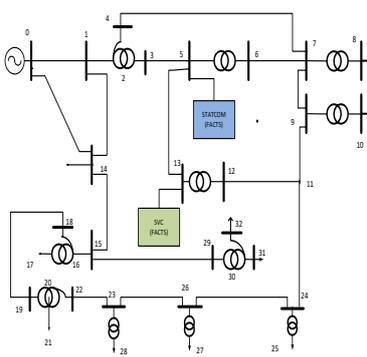


Рис. 5. Схема 32 -узловой электрической сети с STATCOM и SVC

Таблица 1

Параметры для схемы 32 -узловой электрической сети

№	Ветви сети i-j	R_{i-j} , Ом	X_{i-j} , Ом	K_t	P, МВт	Q, МВАр	№	Ветви сети i-j	R_{i-j} , Ом	X_{i-j} , Ом	K_t	P, МВт	Q, МВАр
1	0-1	3	32.5	1	0	0	19	15-16	0.58	61.1	1	0	0
2	1-2	0.58	61.1	1	0	0	20	16-17	2.9	113.5	4.55	25	10
3	2-3	0.19	0	1.9	17	3	21	16-18	0.39	0.2	2.27	0	0
4	2-4	1.45	56.75	3.9	0.6	0.3	22	18-19	8.62	37.75	1	0	0
5	3-5	0.6	4.13	1	110	55	23	19-20	0.5	48.6	1	0	0
6	5-6	5.6	158.7	1.9	0	0	24	20-21	1	82.5	21.45	30	12
7	6-7	10.71	15.19	1	0	0	25	20-22	0.5	0	2	0	0
8	4-7	1.24	2.13	1	0	0	26	22-23	13.77	19.53	1	0	0
9	7-8	1.95	50.35	10	50	20	27	11-24	11.20	19.21	1	0	0
1	7-9	12.45	21.35	1	0	0	28	24-25	7.35	110.2	9	10	3
1	9-10	2.8	79.35	10.6	30	12	29	24-26	0.622	1.07	1	0	0
1	9-11	12.45	21.35	1	0	0	30	26-27	5.6	158.7	9	10	3
1	12-11	12.24	17.36	1	0	0	31	26-23	7.47	12.81	1	0	0
1	5-13	5.78	21.2	1	0	0	32	23-28	7.35	110.2	9	10	5
1	13-12	2.8	79.35	1.8	0	0	33	15-29	1.53	47	1	0	0
1	0-14	4.35	50.54	1	50	20	34	29-30	0.58	61.1	1	0	0
1	1-14	4.58	48	1	50	20	35	30-31	2.9	113.5	50	18	10
1	14-15	4.38	40	1	0	0	36	30-32	0.39	0	4.7	0	0

В табл. 2 показаны результаты расчета потерь активной мощности в 32-узловой электрической сети для трех вариантов – без устройств FACTS и с ними. Устройства FACTS были установлены в двух точках 32 - узловой схемы, при этом разница потерь мощностей и изменения напряжения показывают, что SVC и STATCOM могут уменьшить колебания напряжения во время непредвиденных ситуаций и функционировать как устройства быстрого реагирования для поддержания устойчивости энергосистемы.

Первоначально потери активной мощности электрической сети составили 35.11 МВт, по результатам внедрения FACTS (STATCOM и SVC с общей мощностью ± 305 МВАр) потери снизились до 29 МВт, или на 17%.

Применение устройств FACTS, таких как STATCOM и SVC, в современных энергосистемах является эффективным способом улучшения их устойчивости и снижения потерь мощности.

Общие потери 32-узловой схемы электросети

Параметры	Без применения FACTS	С устройством STATCOM в узле 5	Комбинации STATCOM и SVC (в 5 - и 13 – м узлах)
Общие потери активной мощности в сети, МВт	35.11	33.19	29
Фактические значения напряжений в узлах 3 и 5, кВ	220.48 и 237.88	221.20 и 238.62	223.6 и 231.1
Изменение напряжения в узлах 3 и 5, кВ	0 и 0	0.72 и 0.74	3.12 и –6.78

Внедрение FACTS не только повышает надежность энергоснабжения, но и служит важным инструментом для управления реактивной мощностью в условиях переменных нагрузок и нестабильности сети. Это особенно актуально в рамках перехода Узбекистана к масштабному использованию возобновляемых источников энергии, где нестабильность генерации требует быстрых и точных решений для поддержания стабильных режимов работы сети.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Khamidov Sh., Shamsiev Kh., Shamsiev B. Technical and organizational aspects of increasing the reliability of the unified power system of Central Asian countries // AIP Conference Proceedings 2552, 040021. 2023. <https://doi.org/10.1063/12.0013114> <https://doi.org/10.1063/5.0111614>.
2. Acha E., Fuerte-Esquivel C.R, Ambriz-Pe'rez H., Angeles-Camacho C. Modelling and Simulation in Power Networks John Wiley and Sons Ltd. 2004.
3. Hingorani N.G., Flexible A.C. Transmission Systems (FACTS) - Overview Paper presented at the Panel Session of FACTS (Atlanta), 1990.
4. A Thyristor Controlled Series Compensator Model for the Power Flow Solution of Practical Power Networks / Fuerte-Esquivel C.R., Acha E., Ambriz-Pe'rez H. // IEEE Trans. Power Systems. 2000. № 15(1). P. 58 – 64.
5. Flexible A.C. Transmission Systems (FACTS) - Overview / Hungorani N.G. // Paper presented at the Panel Session of FACTS. IEEE PES 1990 Winter Meeting. Atlanta, 1990.
6. Flexible AC Transmission Systems (FACTS) / Song Y.H., Johns A.T. London: IEEE Press, 1999.
7. Xiao-Ping Zhang, Christian Rehtanz, Bikash Pal Flexible A.C. Transmission Systems: Modelling and Control. ISBN-10 3-540-30606-4 Springer Berlin; Heidelberg; New – York.
8. Suman Bhowmick, Flexible A.C. Transmission Systems (FACTS) Newton Power-Flow Modeling of Voltage-Sourced Converter Based Controllers. © 2016 by Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.
9. Acha E., Fuerte-Esquivel C.R., Ambriz-Pe'rez H., Angeles-Camacho C. FACTS: Modelling and Simulation in Power Networks, John Wiley & Sons Ltd, 2004.
10. Khamidov Sh. Improving the reliability of ups Central Asia implementation of FACTS devices. Energy Systems Research, 2020. E3S Web of Conferences 216, 01103 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601103> RSES, 2020.

11. Misrikhanov M.Sh., Khamidov Sh.V. et al. Calculation of power flow in a three-phase network with FACTS devices. // Technical science and innovation. Electrical and computer engineering. 2021. №4, P.128.
12. Khamidov Sh. Modeling of FACTS Devices and Their Application in Intersystem Tie Lines of the United Power System of Central Asia. Energy Systems Research, Vol. 2. 2019. No.3. P.51 – 54.
13. Khamidov Sh., Tanirbergenov R. Analysis of the STATCOM device during mains voltage fluctuations in the matlab/simulink environment // International Journal of Research and Development (IJRD). Vol. 9 [Issue: 4| April 2024. 8.675| ISI I.F. Value: 1.241].
14. Misrikhanov M., Khamidov Sh. Calculation of Power Flow in a Three-Phase Network, Containing Static Reactive Power Compensator // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. India. Vol. 6(10). 2019. P.11253 – 11257.
15. Khamidov Sh. Optimization of power flow through FACTS in electrical networks To cite this article: 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 883 012128.
16. Misrikhanov M.Sh., Khamidov Sh.V. et al. Combined devices of FACTS technology // Technical science and innovation. Electrical and computer engineering.2021. №4. P.189 – 194.
17. Мисриханов М.Ш. Оптимизация размещения устройств FACTS с помощью генетических алгоритмов / Мисриханов М.Ш., Рябченко В.Н., Ситников В.Ф. // Сб. трудов международной научн.- техн. конф. «Электротехника - 2030». М.: ВЭИ, 2007.
18. Мисриханов М.Ш. Силовые полупроводниковые устройства (обзор) / Мисриханов М.Ш., Ситников В.Ф. // Вестник ИГЭУ. Вып. 6. 2005. С. 98 – 117.
19. Мисриханов М.Ш., Хамидов Ш.В. Устройства FACTS и их применение для интеллектуального управления режимами электроэнергетических систем Ташкент: Изд. «Navro`z», 2022. –320 с.

Институт проблем энергетики АН РУз

Дата поступления
11.04.2025

УДК 621.311

Р.Б.ЖАЛИЛОВ, У.У.КАМАЛОВ, А.Т.КАРАЕВ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЧАСТОТНО - РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ УСТАНОВКОЙ АО «БУХАРАЭНЕРГОМАРКАЗ»

В статье приведены результаты экспериментального исследования применения частотно-регулируемого электропривода в системе автоматического управления (САУ) насосной установкой.

Данное исследование проведено в системе автоматизированного частотно-регулируемого асинхронного электропривода сетевого насоса. Обоснована эффективность применения частотно-регулируемого электропривода в САУ насосной установкой АО «Бухараэнергомарказ».

Ключевые слова: частотно-регулируемый электропривод, САУ насосной установкой, эффективность применения частотно-регулируемого электропривода.

**Бухороэнегмарказ АЖ насосларни автоматик бошқарув тизимида частотали
ростланадиган электр юритмани қўллашнинг самарадорлиги**

Мақолада насос ускунасининг автоматик бошқариш тизими – АБТда частотавий ростланадиган электр юритмадан фойдаланиш бўйича экспериментал натижалар келтирилган. Тадқиқот тармоқ насосининг автоматик частотавий бошқариладиган электр юритмаси тизимида ўтказилган. «Бухороэнегмарказ» АЖ тармоқ насос агрегатини автоматик бошқариш тизимида частотавий ростланадиган электр юритмадан фойдаланишнинг самарадорлиги асосланган.

Калит сўзлар: частотавий ростланадиган электр юритма, насос ускунасининг автоматик бошқариш тизими – АБТ, частотавий ростланадиган электр юритмадан фойдаланишнинг самарадорлиги.

R.B. Jalilov, U.U. Kamalov, A.T. Karaev

**Efficiency of using a variable frequency drive in the automatic control system of the pumping unit
of jsc «Bukharaenergomarkaz»**

The article presents the results of an experimental study of the use of a variable frequency drive in the ACS of a pumping unit. The study was conducted in the system of automated frequency-controlled asynchronous electric drive of the network pump. Is substantiated the efficiency of using a frequency-controlled electric drive in the automatic control system of the pumping unit of JSC “Bukharaenergomarkaz”.

Keywords: variable frequency drive, pumping unit of control system, efficiency of variable frequency drive application

Обзор научной литературы и определенные исследования в этой области показывают, что проблемами развития отрасли и значительных потерь в теплоэнергетике (ТЭ) в настоящее время являются следующие [1 – 5]:

- недостаточность национальной элементной базы для реализации современных цифровых технологий;
- необходимость обеспечения управляемости, устойчивости и живучести теплоэнергетических систем, свойства которых радикально меняются под влиянием интеллектуализации и цифровизации энергетики;
- недостаточность нормативной базы для развития цифровой энергетики;
- необходимость модернизации оборудования теплоснабжающих предприятий на базе автоматизированных цифровых систем.

В системах автоматизированного управления (САУ) насосными установками частотно-регулируемый электропривод используется для того, чтобы с его помощью привести в соответствие режим работы насосов с режимом работы обслуживаемой системы подачи жидкости, например, водопроводной или канализационной сети города либо промышленного предприятия [3 – 5].

Основной целью реализуемого в настоящее время в городе Бухара пилотного проекта программы по замене устаревших систем теплоснабжения на более современные и автоматизации котельной АО «Бухараэнегмарказ» является внедрение:

- систем автоматического частотного управления сетевыми насосами в тепловой схеме АО «Бухараэнегмарказ»;
- автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета тепла (АИИСКУТ);
- установки индивидуальных тепловых пунктов (ИТП) по опыту других стран, где они показали свою высокую эффективность;

■ реализация перевода существующей открытой системы теплоснабжения в закрытую [4 – 7].

В данной статье рассматривается оценка эффективности внедрения частотно - регулируемого электропривода в систему автоматического частотного управления САЧУ сетевыми насосами в тепловой схеме котельной АО «Бухараэнергомарказ».

На рис.1 приведена функциональная схема автоматизированного частотно - регулируемого асинхронного электропривода насосного агрегата, применяемого для управления сетевыми насосами в тепловой схеме котельной [3 – 5]. Обзор научной литературы и определенные исследования в этой области свидетельствуют [4,7-9] о том, что частотно-регулируемый электропривод (РЭП) фирмы «Данфосс» имеет встроенные контроллеры, обеспечивающие функции поочередного управления до трех насосных агрегатов. Количество управляемых агрегатов может быть увеличено до восьми с помощью опции расширения каскадного контроллера. Частотный РЭП удобен в монтаже и эксплуатации. Его можно использовать и как индивидуальный, и как групповой. Преобразователь РЭП может быть установлен вне машинного зала, что удобно, если в машинном зале неблагоприятная среда (повышенная влажность, наличие агрессивных веществ и т. д).

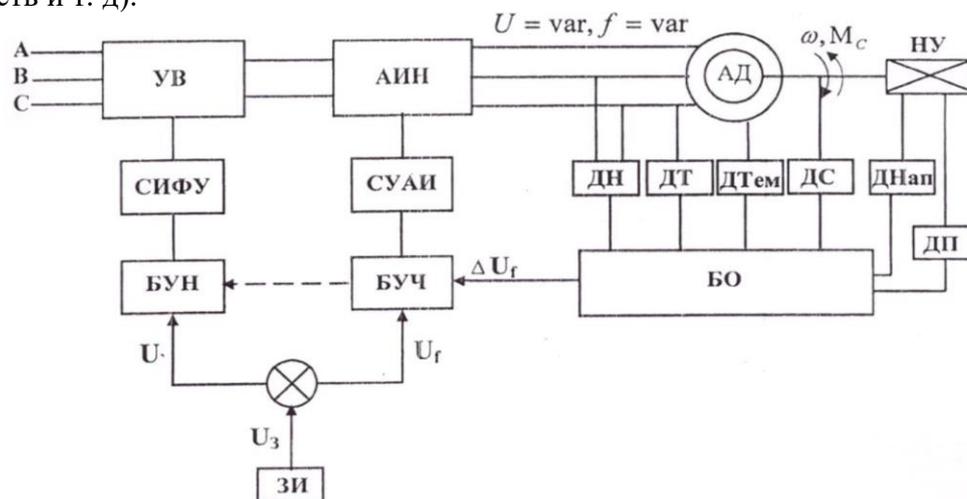


Рис.1. Функциональная схема автоматизированного частотно - регулируемого асинхронного электропривода сетевого насоса:

УВ–управляемый выпрямитель; АИН – автономный инвертор напряжения; АД–асинхронный двигатель; НА–насосный агрегат; СИФУ–система импульсно-фазового управления; СУАИ–система управления автономным инвертором; ДН–датчик напряжения; ДТ–датчик тока; ДС–датчик скорости; ДНап–датчик напора; ДП–датчик подачи; БУН–блок управления напряжением; БУЧ–блок управления частотой; БО–блок обратной связи; ЗИ–датчик интенсивности

Номинальные значения мощности P (кВт) на валу насосных агрегатов, для которых изготавливаются преобразователи VLT® AQUA Drive на напряжение питающей сети приблизительно $3 \times (380 \wedge 480)$ В, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номинальные значения мощности P

0.37	0.55	0.75	1.1	1.5	2.2	3.0	4.0	5.5	7.5	11.0	15.0
18.5	22	30	37	45	55	75	90	110	132	160	200
250	315	335	400	450	500	630	710	800	1000		

Установлено, что преобразователи имеют одни из самых высоких значений КПД преобразователей, которые зависят от мощности привода и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения КПД преобразователей

Мощность, кВт	0.37	0.55	1.1	1.5-1.75	11-75	90	110-1000
КПД, %	93	95	96	97	98	99	98

Коэффициент мощности преобразователя также достаточно высок ($\cos \varphi \geq 0.9$). Поэтому применение регулируемого привода на основе преобразователя VLT® AQUA Drive не требует дополнительных устройств, повышающих $\cos \varphi$ (батарей статических компенсаторов и т. п.).

На рис. 2 показана принципиальная схема преобразователя VLT® AQUA Drive и типовая схема внешних подключений (источника питания, электродвигателя насоса, датчиков и т.д.).

Проведём оценку эффективности внедрения частотно-регулируемого электропривода в САУ-системе автоматического частотного управления сетевыми насосами в тепловой схеме АО «Бухараэнергомарказ».

Насосная установка оснащена:

- одним агрегатом с насосом Д 1250 -125 ($Q = 1250 \text{ м}^3 / \text{ч}$, $H = 125 \text{ м}$, $\eta_n = 0.77$) и электродвигателями А4-400-4 ($P_{\text{ном}} = 400 \text{ кВт}$, $n_{\text{ном}} = 1500 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{\text{эд}} = 0.95$);
- одним агрегатом с насосом 200Д 65 ($Q = 450 \text{ м}^3 / \text{ч}$, $H = 65 \text{ м}$, $\eta_n = 0.75$) и электродвигателем 4А 280-М4 ($P_{\text{ном}} = 132 \text{ кВт}$, $n_{\text{ном}} = 1450 \text{ мин}^{-1}$, $\eta_{\text{эд}} = 0.95$).

Насосная установка работает 2880 ч в году (отопительный сезон), обеспечивая подачу в диапазоне от $Q_{\text{мин}} = 850 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ($0.23 \text{ м}^3 / \text{с}$) до $Q_{\text{макс}} = 1000 \text{ м}^3 / \text{ч}$ ($0.27 \text{ м}^3 / \text{с}$).

Статическое противодействие в системе равно $H_{\text{п}} = 20 \text{ м}$.

Напор, соответствующий наибольшей подаче Q_6 , $H_6 = 95 \text{ м}$.

Результаты и их обсуждение

Объём подаваемой воды за год $V_{\text{год}} = 853441 \text{ м}^3 / \text{год}$ (отопительный сезон).

Годовое энергопотребление насосной установки $W_{\text{год}} = 2844320 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ (отопительный сезон).

Определим эффективность применения системы автоматического управления режимом работы по напору на основе применения частотно-регулируемого электропривода вместо существующего способа регулирования работы насосной установки.

1. Определение экономии энергии при замене существующего способа регулирования насосной установки САУ, оснащённой частотно-регулируемым электроприводом. Относительная минимальная подача

$$\lambda = \frac{Q_{\text{min}}}{Q_{\text{maks}}} = \frac{850}{1000} = 0.85,$$

где Q_{min} –наименьшая подача в сутки минимального водопотребления;

Q_{maks} –наибольшая подача в сутки максимального водопотребления.

Относительное противодействие

$$H_{\text{п}}^* = \frac{H_{\text{п}}}{H_6} = \frac{20}{95} = 0.57,$$

где $H_{\text{п}}$ – статическое противодействие в системе; H_6 – напор, соответствующий наибольшей подаче Q_{maks} , $H_6 = 95 \text{ м}$.

Для этих значений $\lambda = 0.8$ и $H_{\text{п}}^* = 0.21$ с использованием расчётных кривых [4] определяем значение относительной экономии энергии

$$w_{\text{д}}^* = 0.18.$$

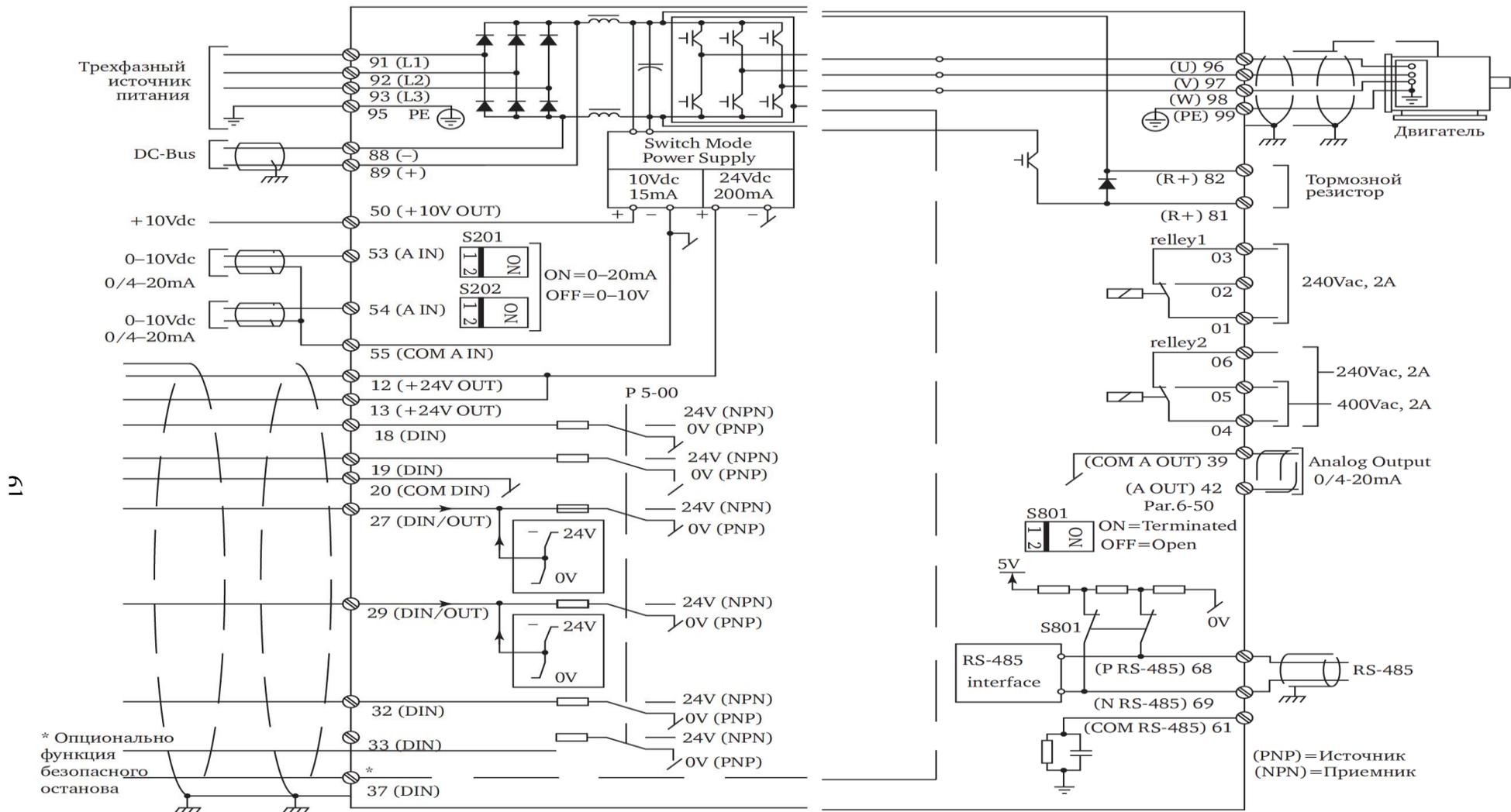


Рис. 2. Схема внешних подключений частотного преобразователя «Дanfосс» серии VLT® AQUA Drive

Потребляемая насосами мощность при работе с наибольшей подачей до $Q_{maks} = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0.27 \text{ м}^3/\text{с}$)

$$N_6 = 9.81 \cdot \frac{Q_{maks} \cdot H_6}{\eta_n} = 9.81 \cdot \frac{0.27 \cdot 95}{0.77} = 327 \text{ кВт.}$$

Прогнозируемая экономия энергии за расчётный период (отопительный сезон)

$$W = \frac{1}{\eta_{эд}} N_6 \cdot T [w_d^* - (1 + \zeta - \eta_{пр})] \cdot \varphi = \frac{1}{0.95} \cdot 327 \cdot 2880 \cdot [0.18 - (1 + 0.02 - 0.98)] \cdot 0.66 = 991326 \cdot (0.18 - 0.04) \cdot 0.66 = 91598 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где $T_{год} = 2880 \text{ ч}$ – число часов работы в году (отопительный сезон); w_d^* – относительная экономия энергии при замене дросселирования изменением частоты вращения насоса; $\zeta = 0.02 \div 0.03$ – коэффициент, учитывающий дополнительные потери в приводе; $\eta_{эд} = 0.95$ – номинальное значение КПД электродвигателя; $\eta_{пр} = 0.98$ – номинальное значение КПД частотного преобразователя; $\varphi = 0.66$ – снижающий коэффициент. Прогнозируемая экономия энергии (%)

$$W_{эк.год} = \frac{W_{рез}}{W_{год}} = \frac{91598}{2844320} \cdot 100 \approx 3.22 \text{ \%}.$$

2. Определение экономии воды. Объём сэкономленной воды определен для режима с применением системы автоматического управления режимом работы по напору на основе применения частотно-регулируемого электропривода.

Режим 1. Относительная минимальная подача

$$\lambda = \frac{Q_{min}}{Q_{maks}} = \frac{850}{1000} = 0.8.$$

Относительное противодавление

$$H_{п}^* = \frac{H_{п}}{H_6} = \frac{20}{90} = 0.22.$$

Относительное снижение объёма утечек и непроизводительных расходов воды при $H_{п}^* = 0.22$ и $\lambda = 0.8$, $w_d^* = 0.18$.

Объём воды, перекачиваемый насосной установкой (отопительный сезон), м^3 :

$$V = \frac{Q_{maks}^2 - Q_{min}^2}{2 \cdot (Q_{maks} - Q_{min})} \cdot T = \frac{1000^2 - 850^2}{2 \cdot (1000 - 850)} \cdot 2880 = 2664000.$$

Объём воды, сэкономленный за год (отопительный сезон), м^3 :

$$V_{эк} = \Delta v_{\Sigma 1} V = 0.18 \cdot 2664000 = 479520.$$

Суммарный объём воды, поданной насосной установкой за год, м^3 , $V_{год} = 853441$ (отопительный сезон).

Годовая экономия воды (отопительный сезон) %:

$$V_{эк.год} = \frac{V_{эк.год}}{V_{год}} \cdot 100 = \frac{479520}{2844320} \cdot 100 = 17.$$

Уменьшение объёма стоков, сбрасываемых в канализацию, м^3 :

$$V_{ум.сбр} = (0.80 \div 0.85) \cdot V_{эк.год} = 0.85 \cdot 479520 = 407592.$$

С использованием полученных зависимостей и приёмов расчёта может быть выполнена оценка экономии воды при использовании частотно-регулируемого электропривода для работы насосных установок водоснабжения.

3. Окупаемость частотно-регулируемого электропривода в насосной установке. Стоимость сэкономленной электроэнергии, тыс. сум:

$$\Delta C_w = C_w \Delta W = 900 \cdot 91598 = 82438.200,$$

где ΔW – экономия электроэнергии за расчётный период (отопительный сезон), $\text{кВт} \cdot \text{ч}$; C_w – тариф на электроэнергию на рассматриваемом объекте, $900 \text{ сум./}(\text{кВт} \cdot \text{ч})$.

Стоимость сэкономленной чистой воды, тыс.сум:

$$\Delta C_Q = C_Q V_{\text{эк.год}} = 3.472 \cdot 479520 = 1.664\ 893,$$

где $V_{\text{эк.год}}$ – объём сэкономленной за год воды, м³; C_Q – стоимость воды, 3472 сум/м³.

Стоимость перекачки и обработки уменьшенного объёма стока, сбрасываемого в канализацию, 3136 сум/м³ :

$$\Delta C_q = C_q V_{\text{ум.сбр.год}} = 3136 \cdot 407592 = 1\ 278.208.5,$$

где $V_{\text{ум.сбр.год}}$ – уменьшение объёма сброшенных стоков в канализацию за год, м³; C_q – стоимость перекачки и обработки стоков, равная 3136 сум/м³.

Снижение эксплуатационных расходов за расчётный период (отопительный сезон), тыс.сум:

$$\Delta C = \Delta C_W + \Delta C_Q + \Delta C_q = 82\ 438.200 + 1.664\ 893 + 1\ 278.208,5 = 85\ 381.301.5.$$

Полагаем, что частотно-регулируемым приводом оснащается один агрегат (№ 1). В приводе используется частотный преобразователь компании «Данфосс» серии AQUA мощностью 400 кВт.

Дополнительные капитальные затраты ΔK складываются из стоимости преобразователя и коммутационных аппаратов и приблизительно равны 23 000 EUR. Стоимость этих устройств и стоимость строительно-монтажных работ принимается приблизительно равной 30% стоимости привода. Таким образом, дополнительные капитальные затраты составят сумму, (тыс. сум.):

$$\Delta K = 1.30 \cdot (14343 \cdot 23000) = 428\ 855.700 .$$

Дополнительные амортизационные отчисления, обусловленные использованием частотно-регулируемого электропривода в насосной установке (тыс. сум.):

$$\Delta A = A \cdot \Delta K = 0.083 \cdot 428\ 855.700 = 35\ 595.023,$$

где $\Delta A = A\%/100$ – амортизационные отчисления от капитальных вложений, отн. ед.; $A\% = 8.3\%$ – норма амортизационных отчислений для электротехнического оборудования.

Расчётный ожидаемый срок окупаемости САУ, оснащенной частотно-регулируемым электроприводом с учётом экономии воды,

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{\Delta C - A \cdot \Delta K} = \frac{428\ 855.700}{85\ 381.301.5 - 35\ 595.023} = \frac{428\ 855.700}{49\ 786.278.5} \approx 0.5 \text{ год.}$$

Расчётный ожидаемый срок окупаемости САУ, оснащенной частотно-регулируемым электроприводом, равен без учёта экономии воды

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{\Delta C_W - A \cdot \Delta K} = \frac{428\ 855.700}{82\ 438.200 - 35\ 595.023} = \frac{428\ 855.700}{46\ 843.177} \approx 9.16 \text{ год.}$$

Заключение. 1. Расчёты показывают, что в рассматриваемой насосной установке создание энергосберегающей САУ на основе применения частотно-регулируемого электропривода компании «Данфосс» серии VLT AQUA Drive окупается в достаточно разумные сроки $T_{\text{ок}} \approx 9.16$ года, даже без учёта экономии воды.

2. Таким образом, внедрение частотно-регулируемого электропривода в САУ насосной установки АО «Бухараэнергомарказ», с применением частотного преобразователя «Данфосс» серии VLT® AQUA Drive, следует считать вполне эффективным.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Узбекистан от 9 сентября 2022 г. № УП-220 «О дополнительных мерах по внедрению энергоэффективных технологий и развитию маломощных возобновляемых источников энергии». Lex.Uz.

2. Указ Президента РУз «Об утверждении стратегии “Цифровой Узбекистан-2030” и мерах по её эффективной реализации», 05.10.2020. № УП-6079. Lex.Uz.
3. Камалов Т.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных станций систем орошения. АН РУз, Институт энергетики и автоматики. Ташкент: Фан, 2014. – 368с.
4. Лезнов Б. С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок. М.: Машиностроение, 2013. –176 с.
5. Жалилов Р.Б., Камалов У.У., Караев А.Т. Исследование особенности цифровизации системы теплоснабжения города Бухара //Журнал «Проблемы энергоресурсосбережения». Ташкент, 2024. № 4. С. 155 – 165.
6. Жалилов Р.Б., Караев А.Т. Исследование современного состояния и режима теплоснабжения города Бухара // Материалы Международной научно-практической конференции «Наука и технологии устойчивого развития современного общества». Бухара: БухИТИ, 2024. С. 424 – 426.
7. Дусматов Р.К., Султанова Г.Б. Исследование пусковых энергетических параметров частотно-регулируемого асинхронного электропривода насосных агрегатов // Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем». ТашГТУ, 25 – 26 мая 2023 г. I часть. Ташкент, 2023. С.51 – 54.
8. Жалилов Р.Б. Перспективы применения цифровых технологий в электромеханических и электротехнологических системах // Сборник докладов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы цифровизации и повышения энергоэффективности автоматизированных электромеханических и электротехнологических систем». ТашГТУ, 25 – 26 мая 2023 г. Ташкент, 2023. Т. I. С.53 – 56.
9. Жалилов Р.Б., Камалов У.У., Караев А.Т. Исследование модернизации котельной АО «Бухараэнергомарказ» // Развитие науки и технологий. Научно-технический журнал. Бухара: БухИТИ, 2025. №1. С.117 – 124.

Бухарский государственный технический университет

Дата поступления
25.04.2025

УЎК 621.314

Д.Т. ЮСУПОВ

МОЙЛИ КУЧ ТРАНСФОРМАТОРЛАРИНИНГ ИШОНЧЛИЛИГИНИ ҚЎШИМЧА СОВУТИШ, СУЮҚ ИЗОЛЯЦИЯСИНИ ЧУҚУР ТОЗАЛАШ ВА ИЧКИ СИММЕТРИЯЛАШ ОРҚАЛИ ОШИРИШ

Узок муддатли эксплуатация шароитидаги мойли куч трансформаторларининг ишончлилигини баҳолаш жараёнлари бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ночизикли юкламаларни симметриялаш технологияларини жуфт ва умумий тарзда қўллаш орқали амалга оширилган. Тадқиқот натижаларига кўра, мойли куч трансформаторларининг ишончлилигини бак сиртини қўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш технологияларини жуфт тарзда қўллаш орқали 4105 соатга, бак сиртини қўшимча совутиш ва ички симметриялаш технологияларини жуфт тарзда қўллаш орқали 3295 соатга, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологияларини жуфт тарзда қўллаш орқали 12558 соатга оширишга эришилган. Шу билан бирга мойли куч трансформаторларининг

ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш, суёқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологияларини умумий тарзда қўллаш орқали 3633 соатга оширишга эришилган.

Калит сўзлар: мойли куч трансформаторлари, ишончилик, қўшимча совутиш, суёқ изоляциясини чуқур тозалаш, симметриялаш, узок муддат, эксплуатация.

Д.Т. Юсупов

Повышение надежности масляных силовых трансформаторов за счет дополнительного охлаждения, глубокой очистки жидкой изоляции и внутреннего симметрирования

Отмечено, что процессы оценки надежности масляных силовых трансформаторов в условиях длительной эксплуатации проводились путем применения технологий дополнительного охлаждения поверхности корпуса, глубокой очистки жидкой изоляции и нелинейной симметрии нагрузки в парном и общем режимах. Согласно результатам исследования, было достигнуто повышение надежности масляных силовых трансформаторов на 4105 ч при использовании технологий дополнительного охлаждения поверхности корпуса и глубокой очистки жидкой изоляции в парах, на 3295 ч при использовании технологий дополнительного охлаждения поверхности корпуса и внутреннего симметрирования в парах и на 12 558 ч при использовании технологий глубокой очистки жидкой изоляции и внутреннего симметрирования в парах. Показано, что в то же время достигается повышение надежности масляных силовых трансформаторов на 3633 ч за счет применения технологий дополнительного охлаждения поверхности корпуса, глубокой очистки жидкой изоляции и внутреннего симметрирования.

Ключевые слова: масляные силовые трансформаторы, надежность, дополнительное охлаждение, глубокая очистка жидкой изоляции, симметрия, длительное время, эксплуатация.

D.T. Yusupov

Increasing the reliability of oil power transformers by additional cooling, deep cleaning of liquid insulation and internal symmetrization

The processes of assessing the reliability of oil-fired power transformers in long-term operation were carried out by applying technologies for additional cooling of the housing surface, deep cleaning of liquid insulation and nonlinear load symmetry in paired and general operation. According to the results of the study, the reliability of oil-fired power transformers was increased by 4105 hours when using technologies for additional cooling of the housing surface and deep cleaning of liquid insulation in pairs, by 3295 hours when using technologies for additional cooling of the housing surface and internal symmetry in pairs, and by 12558 hours when using technologies for deep cleaning of liquid insulation and internal symmetry in in pairs. At the same time, the reliability of oil-fired power transformers is improved by 3633 hours through the use of additional cooling technologies for the housing surface, deep cleaning of liquid insulation and internal symmetry.

Keywords: oil-based power transformers, reliability, additional cooling, deep cleaning of liquid insulation, symmetry, long time, exploitation.

Мойли куч трансформаторларининг ишончили ва самарали ишлаши уларнинг техник хизмат кўрсатиш даражаси ва эксплуатация қилиниши билан боғлиқ. Мойли куч трансформаторлари қуйидаги таркибий элементлардан иборат: магнит ўзак, чулғам, мой, мой учун бак, мой кенгайтирувчи бак, кучланишни ростлаш қурилмаси, ҳаво намлигини тутиб қолувчи фильтр, газ релеси, термометр, совутиш қурилмалари ва мой тозалаш филтрлари [1-10]. Ушбу элементларнинг ҳар бири трансформаторнинг эксплуатация жараёнида иштирок этади ва унинг техник кўрсаткичига турли даражада таъсир қилади. Узок муддат эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторларининг ишдан чиқиш сабаблари бўйича таҳлиллар шуни кўрсатадики, махсус профилактик чора-тадбирлар ўтказилмаётганлиги электр ускуналарнинг номинал ишлаш муддатларига етиб бормаслигига олиб келмоқда. Юқоридаларни инобатга олиб, мазкур тадқиқот ишида қуйидагича мақсад белгилаб олинган.

Тадқиқотнинг мақсади мойли куч трансформаторларининг ишончлилигини кўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали оширишдан иборат.

Тадқиқот материаллари ва усуллари

Узоқ муддатли эксплуатация шароитидаги жами 600 дона мойли куч трансформаторларининг бузилишлари бўйича статистик маълумотлар тўпланган ва таҳлил қилинган. Таҳлил натижалари кўра, мойли куч трансформаторларининг қизиши туфайли ишдан чиққанлар (бузилган) сони 103 та (ёки умумий ишдан чиққанларнинг 17.16 фоизи), суюқ изоляцияси хусусиятларининг ёмонлашиши туфайли ишдан чиққанлар (бузилган) сони 151 та (ёки умумий ишдан чиққанларнинг 25.16 фоизи) ва носимметрик жараёнлари туфайли ишдан чиққанлар (бузилган) сони 79 тани (ёки умумий ишдан чиққанларнинг 13,16 фоизи) ташкил этган. Қолган 267 та узоқ муддатли эксплуатация шароитидаги мойли куч трансформаторлари бошқа омиллар туфайли ишдан чиққан.

Узоқ муддатли эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторларининг ишончлилигини бак сиртини кўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали баҳолаш жараёнлари эҳтимоллар ва ишончлилик назарияларига асосланган.

Олинган натижалар ва уларнинг муҳокамаси

Узоқ муддатли эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторларининг ишончилигини кўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали жуфт ва умумий тарзда орқали баҳолаш жараёнларида (1) формуладан фойдаланилди.

Кўриб чиқиладиган кўрсаткичлар орқали куйидагича ёзиш мумкин:

$$\lambda_{umumiy} = \sum_1^3 \lambda_i = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3, \quad (1)$$

бу ерда λ_1 – куч трансформаторларининг қизиши туфайли бузилиш жадаллиги; λ_2 – куч трансформаторларининг суюқ изоляцияси хусусиятларининг ёмонлашиши туфайли бузилиш жадаллиги; λ_3 – куч трансформаторларининг носимметрияк жараёнлар туфайли бузилиш жадаллиги.

Дастлаб мойли куч трансформаторларининг ишончилиги кўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш орқали жуфт тарзда баҳоланди:

$$\lambda_{juft(1)} = \lambda_1 + \lambda_2 = 0.000102081 + 0.000108399 = 0.00021048.$$

Юқоридаги ҳисоблаш ишлари мойли куч трансформаторларига бак сиртини кўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш технологияларини қўллашдан олдинги ҳолат учун амалга оширилди.

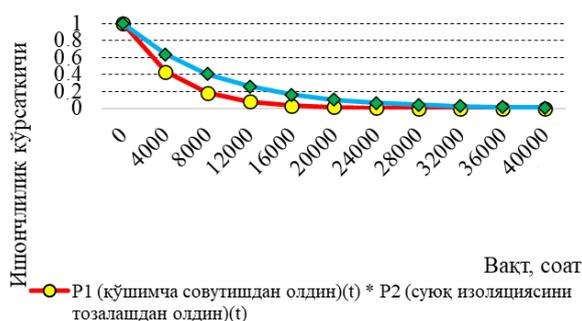
Мойли куч трансформаторларининг ишончилиги кўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш технологияларини қўллашдан кейинги ҳолат учун баҳоланди. Бунинг учун уларнинг бузилиш жадалликларини ҳисобланди:

$$\lambda_{juft(1)1} = \lambda_{1(1)} + \lambda_{2(1)} = 0.0000895172 + 0.0000234 = 0.0001129172.$$

1-расмда узоқ муддатли эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторининг ишончилигини кўшимча совутиш ва ички симметриялаш орқали баҳолаш натижалари келтирилган, бунда кўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – $P_1(\text{кўшимча совутишдан олдин})(t)$ ва $P_2(\text{суюқ изоляциясини тозалашдан олдин})(t)$, кўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{1(1)}(\text{кўшимча совутишдан кейин})(t)$ ва $P_{2(1)}(\text{суюқ изоляциясини тозалашдан кейин})(t)$.

Кўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – P_1 (кўшимча совутишдан олдин) (t), P_2 (суюқ изоляциясини тозалашдан олдин)(t), кўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш

технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{1(1)}$ (қўшимча совутишдан кейин)(t), $P_{2(1)}$ (суяқ изоляциясини тозалашдан кейин) (t).



1-расм. Узоқ муддатли эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторининг ишончилигини қўшимча совутиш ва суяқ изоляциясини чуқур тозалаш орқали баҳолаш натижалари

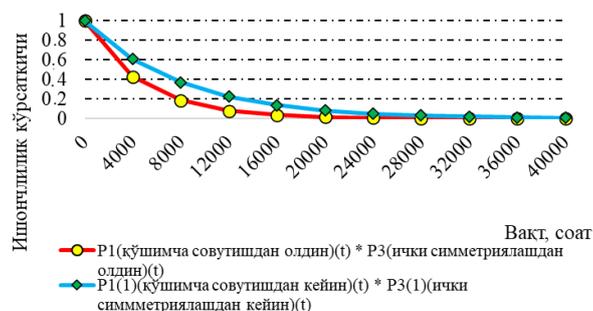
Навбатда мойли куч трансформаторларининг ишончилиги бак сиртини қўшимча совутиш ва ички симметриялаш орқали жуфт тарзда баҳоланди:

$$\lambda_{juft(2)} = \lambda_1 + \lambda_3 = 0.000102081 + 0.000108666 = 0.000210747.$$

Мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш ва ички симметриялаш натижасида қанча микдорга ошганлигини баҳолаш учун уларнинг бузилиш жадалликлари ҳисобланди:

$$\lambda_{juft(2)1} = \lambda_{1(1)} + \lambda_{3(1)} = 0.0000895172 + 0.0000348551 = 0.0001243723.$$

2-расмда узоқ муддатли эксплуатацияда шароитида мойли куч трансформаторининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш ва ички симметриялаш орқали баҳолаш натижалари келтирилган, бунда қўшимча совутиш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – P_1 (қўшимча совутишдан олдин)(t) ва P_3 (ички симметриялашдан олдин)(t), қўшимча совутиш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{1(1)}$ (қўшимча совутишдан кейин)(t) ва $P_{3(1)}$ (ички симметриялашдан кейин)(t).



2-расм. Узоқ муддатли эксплуатацияда шароитида мойли куч трансформаторининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш ва ички симметриялаш орқали баҳолаш натижалари

Қўшимча совутиш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – P_1 (қўшимча совутишдан олдин)(t) * P_3 (ички симметриялашдан олдин)(t), қўшимча совутиш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{1(1)}$ (қўшимча совутишдан кейин)(t) * $P_{3(1)}$ (ички симметриялашдан кейин)(t).

Навбатда мойли куч трансформаторларининг ишончилиги суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали жуфт тарзда баҳоланди:

$$\lambda_{juft(3)} = \lambda_2 + \lambda_3 = 0.000108399 + 0.000108666 = 0.000217065.$$

Мойли куч трансформаторларининг ишончилигини суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш натижасида қанча миқдорга ошганлигини баҳолаш учун уларнинг бузилиш жадалликлари ҳисобланди:

$$\lambda_{juft(3)1} = \lambda_{2(1)} + \lambda_{3(1)} = 0.0000234 + 0.0000348551 = 0.000371951.$$

3-расмда узоқ муддатли эксплуатацияда шароитида мойли куч трансформаторининг ишончилигининг суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали баҳолаш натижалари келтирилган, бунда суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – $P_{2(\text{суюқ изоляциясини чуқур тозалашдан олдин})}(t)$ ва $P_{3(\text{ички симметриялашдан олдин})}(t)$, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{2(1)(\text{суюқ изоляциясини чуқур тозалашдан кейин})}(t)$ ва $P_{3(1)(\text{ички симметриялашдан кейин})}(t)$.



3-расм. Узоқ муддатли эксплуатацияда шароитида мойли куч трансформаторининг ишончилигини суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали баҳолаш натижалари

Суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – $P_{2(\text{суюқ изоляциясини чуқур тозалашдан олдин})}(t) * P_{3(\text{ички симметриялашдан олдин})}(t)$, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{2(1)(\text{суюқ изоляциясини чуқур тозалашдан кейин})}(t) * P_{3(1)(\text{ички симметриялашдан кейин})}(t)$.

Мойли куч трансформаторларининг ишончилиги бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали умумий тарзда баҳоланди:

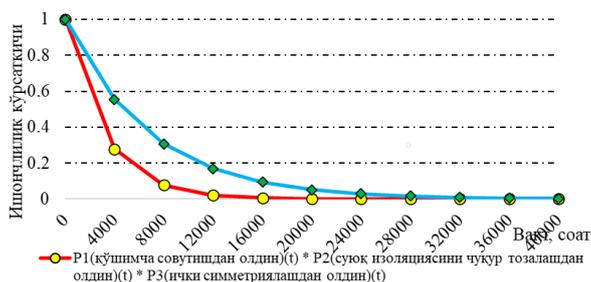
$$\lambda_{umumiy} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 0.000102081 + 0.000108399 + 0.000108666 = 0.00031914.$$

Мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш натижасида қанча миқдорга ошганлигини баҳолаш учун уларнинг бузилиш жадалликлари ҳисобланди:

$$\lambda_{umumiy(1)} = \lambda_{1(1)} + \lambda_{2(1)} + \lambda_{3(1)} = 0.0000895172 + 0.0000234 + 0.0000348551 = 0.000147723.$$

4-расмда узоқ муддатли эксплуатацияда шароитида мойли куч трансформаторининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали умумий тарзда баҳолаш натижалари келтирилган, бунда қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – $P_{1(\text{қўшимча совутишдан олдин})}(t) * P_{2(\text{суюқ изоляциясини чуқур тозалашдан олдин})}(t) * P_{3(\text{ички симметриялашдан олдин})}(t)$.

симметриялашдан олдин) (t) , кўшимча совутиш, суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{1(1)}$ (кўшимча совутишдан кейин) $(t) * P_{2(1)}$ (суяқ изоляциясини чуқур тозалашдан кейин) $(t) * P_{3(1)}$ (ички симметриялашдан кейин) (t) .



4-расм. Узоқ муддатли эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини кўшимча совутиш, суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологияларини умумий тарзда қўллаш орқали баҳолаш натижалари

Кўшимча совутиш, суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилишидан олдинги ҳолат – P_1 (кўшимча совутишдан олдин) (t) , P_2 (суяқ изоляциясини чуқур тозалашдан олдин) (t) , P_3 (ички симметриялашдан олдин) (t) , кўшимча совутиш, суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологиялари қўлланилганидан кейинги ҳолат – $P_{1(1)}$ (кўшимча совутишдан кейин) $(t) * P_{2(1)}$ (суяқ изоляциясини чуқур тозалашдан кейин) $(t) * P_{3(1)}$ (ички симметриялашдан кейин) (t) .

жадвалда узоқ муддатли эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини кўшимча совутиш, суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологияларини алоҳида, жуфт ва умумий тарзда қўллаш орқали ошириш натижалари келтирилган.

Тадқиқот жараёнида мойли куч трансформаторларига таъсир этувчи бошқа омиллар инобатга олинмаган.

Узоқ муддатли эксплуатация шароитида мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини кўшимча совутиш, суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологияларини алоҳида, жуфт ва умумий тарзда қўллаш орқали ошириш натижалари

T/p	Қўлланилган технологиялар тури	Технология қўлланилишидан олдинги ҳолат учун ўртача бузилиш вақти, соат	Технология қўлланилганидан кейинги ҳолат учун ўртача бузилиш вақти, соат	Ўртача ишлаш муддатининг ошиши, соат
1.	Бак сиртини кўшимча совутиш ва суяқ изоляциясини чуқур тозалаш	4751.045	8856.05	4105.01
2.	Бак сиртини кўшимча совутиш ва ички симметриялаш	4745.026	8040.38	3295.35
3.	Суяқ изоляциясини чуқур тоза-	4606.92	17165.89	12558.97

	лаш ва ички симметриялаш			
4.	Бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш	3133.3	6767.1	3633.8

Олиб борилган тадқиқот натижаларига кўра қуйидагилар аниқланди:

1. Мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш ва суюқ изоляциясини чуқур тозалаш технологияларини жуфт тарзда қўллаш орқали 4105 соатга оширишга эришилди.

2. Мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш ва ички симметриялаш технологияларини жуфт тарзда қўллаш орқали 3295 соатга оширишга эришилди.

3. Мойли куч трансформаторларининг ишончилигини суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологияларини жуфт тарзда қўллаш орқали 12558 соатга оширишга эришилди.

4. Мойли куч трансформаторларининг ишончилигини бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш технологияларини умумий тарзда қўллаш орқали 3633 соатга оширишга эришилди.

5. Узок муддатли эксплуатация шароитидаги мойли куч трансформаторларининг ишончилигини баҳолаш жараёнлари бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ночизиқли юкламаларни симметриялаш технологияларини жуфт ва умумий тарзда қўллаш орқали амалга оширилди.

6. Мойли куч трансформаторларининг ишончилиги бак сиртини қўшимча совутиш, суюқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ночизиқли юкламаларни симметриялаш технологияларини жуфт ва умумий тарзда қўллаш ҳисобига оширишга эришилди.

Фойдаланилган адабиётлар

1. Святых А.Б. Контроль технического состояния жидкой изоляции маслонаполненного высоковольтного электрооборудования: Автореф. дис.... канд. техн. наук. М., 2011. – 20 с.
2. Петухов Р.А., Пилюгин Г.А. Эффективная программа диагностических испытаний силовых трансформаторов при проведении экспертизы промышленной безопасности объектов энергетики // Сборник трудов XIX международной научно-практической конференции молодых ученых «Современные техника и технологии». Томск, 2013. №3. С.156–157.
3. Васин В.П., Долин А.П. Ресурс изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов // ЭЛЕКТРО. Электротехника. Электроэнергетика. Электротехническая промышленность. 2008. №3. С.12 – 17.
4. Kawamura T., Fushimi Y., Shimato T.I. Improvement in maintenance and inspection and pursuit of economical effectiveness of transformers in Japan. SIGRE. 2002. P.107 – 108.
5. Бондаренко В.Е., Аулова Н.В. Анализ традиционной системы оценки состояния трансформаторных масел в баках трансформаторов и

- автотрансформаторов напряжением 330 кВ // Вестник «ХПИ». 2010. №45. С.38 – 47.
7. Соколов В.В. и др. Вопросы оценки и обеспечения надежности силовых трансформаторов. Екатеринбург: Издательский дом «Автограф», 2010. С.22 – 30.
 8. Pankaj Sh., Sood Y.R., Jarial R.K. Experimental Evaluation of Water Content in Transformer Oil // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 2. 2013. P. 284 – 291.
 9. Попов Г.В. Вопросы диагностики силовых трансформаторов// ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет». Иваново, 2012. – 176 с.
 10. Львов М.Ю. Разработка и совершенствование методов и критериев оценки технического состояния силовых трансформаторов и автотрансформаторов напряжением 110 кВ и выше: Автореф. докт. техн. наук. М. 2009. – 37 с.
 11. Салихов Т.П., Кан В.В., Юсупов Д.Т. Применение керамического фильтра для циркуляционной очистки масла и целлюлозной изоляции силового трансформатора // Промышленная энергетика. 2017. №8. С.52 – 57.

Институт проблем энергетики АН РУз

04.04.2025
қабул қилинган

УДК 621.311(575.1)

Э.Т. ЖУРАЕВ, А.П. ХУДАЙНАЗАРОВ, Ж.Х. ИШАНОВ, З.Т. ЖУРАЕВА

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА И СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В УЗБЕКИСТАНЕ

В статье изложена государственная политика Республики Узбекистан, направленная на развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и повышение энергоэффективности в условиях роста энергопотребления и глобальных экологических вызовов. Основное внимание уделено анализу нормативно-правовой базы, включая законы и указы Президента Республики Узбекистан, принятые в период с 2019 по 2025 г., которые формируют основу для модернизации энергетического сектора. Рассмотрены стратегические программы, такие как Национальная стратегия развития до 2030 г., предусматривающая увеличение доли ВИЭ в производстве электроэнергии до 40%. Раскрыто значение международного сотрудничества с такими организациями, как Международное энергетическое агентство (IEA) и Азиатский банк развития (ADB), обеспечивающими техническую и финансовую поддержку. Предложены пути совершенствования политики, включая развитие кадрового потенциала и оптимизацию регуляторных механизмов, для обеспечения устойчивого энергетического будущего Узбекистана.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, энергоэффективность, государственная политика, система «Зеленые сертификаты», инвестиционные проекты, модернизация энергетического сектора, стратегия «Зеленая экономика», энергетические аудиты.

Э.Т. Жураев, А.П. Худайназаров, Ж.Х. Ишанов, З.Т. Жураева

Ўзбекистонда қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантириш ва энергия самарадорлигини ошириш бўйича давлат сиёсати ва стратегиялари

Мақолада Ўзбекистон Республикасининг қайта тикланувчи энергия манбаларини (ҚТЕМ) ривожлантириш ва энергия самарадорлигини оширишга қаратилган давлат сиёсати энергия

истеъмоли ортиб бораётган ва глобал экологик муаммолар шароитида ўрганилади. Асосий эътибор 2019–2025-йиллар оралигида қабул қилинган, энергетика соҳасини модернизация қилиш учун асос бўлиб хизмат қилувчи қонунлар ва Президент фармонлари каби норматив-ҳуқуқий базани таҳлил қилишга қаратилган. Тадқиқотда 2030-йилгача бўлган Миллий ривожланиш стратегияси каби стратегик дастурлар кўриб чиқилади, бу дастурда электр энергияси ишлаб чиқаришда ҚТЕМ улушини 40% га ошириш назарда тутилган. Мақолада Халқаро энергетика агентлиги (IEA) ва Осиё тараққиёт банки (ADB) каби ташкилотлар билан халқаро ҳамкорликнинг аҳамияти таъкидланади, улар техник ва молиявий ёрдам кўрсатади. Ўзбекистоннинг барқарор энергетик келажагини таъминлаш учун кадрлар салоҳиятини ривожлантириш ва тартибга солиш механизмларини оптималлаштиришни ўз ичига олган сиёсатни такомиллаштириш йўллари таклиф этилади.

Калит сўзлар: қайта тикланувчи энергия манбалари, энергия самарадорлиги, давлат сиёсати, “Яшил сертификатлар” тизими, инвестиция лойиҳалари, энергетика соҳасини модернизация қилиш, “Яшил иқтисодиёт” стратегияси, энергетик аудитлар.

E.T. Juraev, A.P. Xudaynazarov, J.H. Ishanov, Z.T. Jurayeva

State policy and strategies for the development of renewable energy sources and improvement of energy efficiency in Uzbekistan

The article examines the state policy of the Republic of Uzbekistan aimed at developing renewable energy sources (RES) and improving energy efficiency in the context of increasing energy consumption and global environmental challenges. The primary focus is on analyzing the regulatory framework, including laws and presidential decrees adopted between 2019 and 2025, which form the basis for modernizing the energy sector. The study considers strategic programs, such as the National Development Strategy until 2030, which envisages increasing the share of RES in electricity production to 40%. The paper underscores the importance of international cooperation with organizations such as the International Energy Agency (IEA) and the Asian Development Bank (ADB), which provide technical and financial support. Key achievements are identified, including the launch of solar and wind energy projects. Recommendations are proposed for policy improvement, including the development of human resources and the optimization of regulatory mechanisms, to ensure a sustainable energy future for Uzbekistan.

Keywords: renewable energy sources, energy efficiency, state policy, Green Certificate system, investment projects, modernization of the energy sector, Green Economy strategy, energy audits.

Республика Узбекистан, расположенная в сердце Центральной Азии, обладает значительными запасами ископаемых энергоресурсов, таких как природный газ, нефть и уголь, которые на протяжении десятилетий формировали основу национальной энергетической системы. Однако в условиях глобальных экологических вызовов, включая изменение климата и истощение природных ресурсов, а также стремительного экономического роста, сопровождающегося увеличением спроса на энергию, страна сталкивается с необходимостью кардинальных изменений в своей энергетической политике. Основная зависимость от природного газа, составляющего более 80% энергобаланса, создает риски для энергетической безопасности, особенно в условиях волатильности мировых цен на углеводороды. Устаревшая энергетическая инфраструктура, построенная, в основном, в советский период, характеризуется низкой эффективностью и высокими потерями энергии, что приводит к значительным экономическим и экологическим издержкам [1].

Диверсификация источников энергии и повышение энергоэффективности стали приоритетами государственной политики Узбекистана в последние годы. Эти меры направлены на обеспечение устойчивого экономического развития, снижение экологического следа и выполнение международных обязательств, таких как Парижское соглашение по климату. Введение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнечная, ветровая и гидроэнергия, а также внедрение энергосберегающих технологий в промышленности, строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве, рассматривается как

ключевое направление для достижения этих целей. Например, Узбекистан обладает значительным потенциалом солнечной энергии благодаря более чем 300 солнечным дням в году, что делает его перспективным регионом для развития гелиоэнергетики [2].

Цель данной статьи — провести всесторонний анализ государственной политики и стратегий Узбекистана в области развития ВИЭ и повышения энергоэффективности. В центре внимания находятся законодательные инициативы, национальные стратегии и международное сотрудничество, которые формируют основу для энергетической трансформации страны. Особое внимание уделяется достижениям за последние годы, а также вызовам, которые предстоит преодолеть для реализации амбициозных целей, таких как достижение 40% доли ВИЭ в производстве электроэнергии к 2030 г. Исследование также направлено на выявление перспективных направлений, включая привлечение инвестиций, модернизацию инфраструктуры и развитие человеческого капитала в энергетическом секторе.

Актуальность темы обусловлена глобальными тенденциями перехода к «зеленой» экономике и необходимостью адаптации Узбекистана к этим процессам. Страна стремится не только обеспечить внутренние потребности в энергии, но и стать региональным лидером в области устойчивой энергетики в Центральной Азии. В статье рассматриваются ключевые нормативные акты, такие как указы Президента и законы, принятые в 2019–2025 гг., а также стратегические программы, которые формируют долгосрочное видение развития энергетического сектора. Международное сотрудничество с такими организациями, как Международное энергетическое агентство (IEA) и Азиатский банк развития (ADB), играет важную роль в предоставлении технической и финансовой поддержки [2, 3].

Кроме того, исследование опирается на современные научные публикации из журналов, индексируемых в Scopus, которые подчеркивают важность интеграции ВИЭ и энергоэффективности для устойчивого развития [4,5,6]. Анализ этих источников позволяет не только оценить текущую ситуацию, но и предложить рекомендации для дальнейшего совершенствования энергетической политики Узбекистана. В условиях глобального перехода к низкоуглеродной экономике и роста конкуренции за инвестиции в «зеленые» технологии Узбекистану необходимо оперативно адаптироваться к новым реалиям, чтобы сохранить экономическую конкурентоспособность и экологическую устойчивость.

Исследование государственной политики и стратегий Узбекистана в области ВИЭ и энергоэффективности основано на комплексном подходе, включающем качественный и количественный анализы нормативно-правовых актов, стратегических документов и международных отчетов. Основным методом является систематический анализ законодательной базы, включающей законы, указы Президента и постановления Кабинета Министров, принятые в период с 2019 по 2025 г. Эти документы были изучены с использованием официального портала lex.uz, который предоставляет доступ к актуальным нормативным актам, регулирующим энергетический сектор Узбекистана [1]. Среди ключевых документов — указы Президента № УП-4422, УП-4779, УП-436, УП-77, УП-222, УП-100, УП-63, УП-133, а также постановления Кабинета Министров № 252, 319, 690 и 300, которые охватывают различные аспекты энергетической политики от внедрения ВИЭ до регулирования энергопотребления [7].

Для оценки эффективности государственной политики применялись методы экономического анализа, включая сопоставление целевых показателей,

установленных в национальных стратегиях, с фактическими результатами. Например, были проанализированы данные о приросте мощностей ВИЭ, уровне энергопотребления в промышленности и жилищном секторе, а также объемах привлеченных инвестиций в энергетические проекты. Практико-ориентированный подход включал изучение реальных примеров внедрения ВИЭ, таких как строительство солнечных и ветровых электростанций в Навоийской и Бухарской областях, а также программ модернизации теплоснабжения в жилых домах [4].

Международные отчеты, подготовленные такими организациями, как IEA, ADB и UNECE, использовались для контекстуального анализа и сравнения политики Узбекистана с международными практиками [2,3,8]. Отчет IEA «Solar Energy Policy in Uzbekistan: A Roadmap» (2022) предоставил данные о потенциале солнечной энергетики и рекомендациях по ее развитию [2]. Аналогично отчет ADB «Country Partnership Strategy: Uzbekistan, 2019–2023» содержит информацию о финансировании проектов по модернизации энергетической инфраструктуры [3]. UNECE в своем обзоре «Innovation for Sustainable Development Review of Uzbekistan» (2021) подчеркивает важность инноваций для устойчивого развития, включая энергетический сектор [8].

Дополнительно были проанализированы научные статьи из журналов, индексируемых в Scopus, для углубленного понимания современных тенденций и вызовов в области ВИЭ и энергоэффективности. Например, в исследовании М. Рахимова и Б. Мухаммадиева (2023) [4] анализируются текущие тенденции развития ВИЭ в Узбекистане и их влияние на государственную политику. В статье А. Умарова и Б. Эшчанова (2024) [5] рассматривается энергоэффективность в контексте Центральной Азии, подчеркиваются уникальные вызовы Узбекистана [5]. В публикации С. Ходжаева и Д. Турдиевой (2025) [6] акцентируется внимание на проблемах и возможностях перехода к «зеленой» экономике. Эти источники позволили дополнить анализ теоретическими и практическими выводами, а также выявить пробелы в текущей политике.

Методология также включала изучение стратегических программ, таких как Стратегия действий на 2017–2021 годы, Стратегия инновационного развития на 2019–2021 годы и Национальная стратегия развития до 2030 года [7,9,10]. Эти документы определяют долгосрочные цели и приоритеты, включая достижение 27 ГВт мощности ВИЭ и сокращение выбросов парниковых газов. Для обеспечения достоверности анализа использовались только проверенные источники, а данные о текущем состоянии энергетического сектора были дополнены статистикой Министерства энергетики Узбекистана и международных партнеров.

Государственная политика Узбекистана в области энергетики демонстрирует последовательный подход к реформированию сектора, направленный на развитие ВИЭ, повышение энергоэффективности и переход к «зеленой» экономике. Ключевые нормативные акты, принятые в 2019–2025 гг., создают правовую и институциональную основу для этих преобразований. Рассмотрим их подробнее:

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4422 от 22 августа 2019г. Этот документ стал первым шагом к системным реформам в энергетическом секторе. Он предусматривает внедрение энергосберегающих технологий, развитие ВИЭ и создание специализированных институтов, таких как Национальный научно-исследовательский институт возобновляемых источников энергии. Указ вводит налоговые льготы для инвесторов, субсидии для проектов в области солнечной и ветровой энергии, а также меры по стимулированию

частного сектора к участию в энергетических проектах. Например, в рамках этого указа началось строительство солнечной электростанции в Навоийской области мощностью 100 МВт, что стало важным шагом в диверсификации энергобаланса [4,7].

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-4779 от 10 июля 2020 г. Документ направлен на снижение зависимости экономики от ископаемого топлива путем привлечения внутренних и внешних инвестиций. Он включает меры по модернизации энергетической инфраструктуры, такие как реконструкция электростанций и внедрение «умных» электросетей. Указ также стимулирует развитие государственно-частного партнерства (ГЧП), что позволило привлечь иностранные инвестиции в проекты ВИЭ, такие как ветровая электростанция в Зарафшане [7].

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-436 от 2 декабря 2022 г. Этот указ закрепляет переход к «зеленой» экономике как стратегический приоритет. Он устанавливает цели по сокращению выбросов парниковых газов на 10% от уровня 2010 г. к 2030 г. и увеличению доли ВИЭ в энергобалансе до 40%. Документ также предусматривает развитие системы «Зеленых сертификатов», которая стимулирует производство «зеленой» энергии и ее интеграцию в национальную энергосистему [5, 9].

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-77 от 24 мая 2023 г. Вводит систему «цифровой энергонадзор», которая использует цифровые технологии для мониторинга энергопотребления и предотвращения потерь. Эта система позволяет в реальном времени отслеживать использование электроэнергии и природного газа, что повышает прозрачность и эффективность управления энергетическим сектором. Например, внедрение цифровых счетчиков в Ташкенте сократило потери электроэнергии на 15% за первый год [7].

Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-940 от 7 августа 2024 г. Создает правовую основу для энергосбережения и рационального использования энергии. Закон вводит обязательные стандарты энергоэффективности для новых зданий, а также программы по модернизации существующих объектов. Это особенно актуально для жилищно-коммунального хозяйства, где потери тепла составляют до 30% [1,6].

Закон Республики Узбекистан об электроэнергетике от 7 августа 2024 г. Регулирует функционирование электроэнергетического сектора, включая интеграцию ВИЭ в национальную энергосистему. Закон устанавливает тарифные механизмы для производителей «зеленой» энергии и упрощает процедуры подключения новых электростанций к сети [1].

Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 252 от 30 апреля 2024 г. Утверждает положение об Агентстве по развитию и регулированию энергетического рынка, что способствует созданию конкурентной среды и привлечению частных инвестиций [7].

Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 319 от 31 мая 2024 г. Устанавливает правила использования электроэнергии и природного газа, направленные на предотвращение нерационального потребления. Это включает введение дифференцированных тарифов для крупных потребителей [7].

Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 690 от 19 октября 2024 г. Регулирует проведение энергетических аудитов, что позволяет выявлять неэффективное использование энергии и разрабатывать меры по его оптимизации. Например, аудиты в промышленном секторе показали потенциал сокращения энергопотребления на 20% [7].

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-100 от 11 марта 2025 г. Фокусируется на реформировании системы теплоснабжения жилых домов и повышении энергоэффективности зданий. Документ предусматривает внедрение современных изоляционных материалов и систем отопления, что снижает энергопотребление на 25–30% [7].

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-63 от 27 марта 2025 г. Совершенствует государственное управление в сфере энергоэффективности и развивает рынок услуг энергетических сервисных компаний (ESCO), которые предлагают комплексные решения для оптимизации энергопотребления [7].

Указ Президента Республики Узбекистан № УП-133 от 1 апреля 2025 г. Направлен на предотвращение незаконного использования энергоресурсов и совершенствование мер по энергоэффективности, включая усиление контроля за соблюдением стандартов [7].

Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан № 300 от 7 мая 2025 г. Устанавливает механизмы для ускорения реализации проектов по повышению энергоэффективности, включая упрощение процедур финансирования [7].

Эти документы создают комплексную основу для энергетических реформ, охватывающую правовые, финансовые и институциональные аспекты [4].

Национальные стратегии Узбекистана формируют долгосрочное видение развития энергетического сектора, интегрируя цели устойчивого развития и «зеленой» экономики.

Стратегия действий на 2017–2021 г. Эта стратегия заложила основу для реформ в экономике, включая энергетический сектор. Она способствовала модернизации инфраструктуры, созданию условий для привлечения инвестиций и развитию ВИЭ. Например, в рамках стратегии были запущены первые крупные проекты солнечной энергетики в Самаркандской области [7].

Стратегия инновационного развития на 2019–2021 г. Подчеркивает важность внедрения цифровых технологий и инноваций в энергетику. В рамках этой стратегии были разработаны проекты «умных» электросетей, которые повышают надежность и эффективность энергоснабжения [9].

Национальная стратегия развития до 2030 г. Устанавливает амбициозные цели, включая производство 40% электроэнергии из ВИЭ, достижение мощности ВИЭ в 27 ГВт и сокращение выбросов парниковых газов на 10% от уровня 2010 г. Эта стратегия интегрирует национальные приоритеты с глобальными целями устойчивого развития [5, 10].

Данные стратегии обеспечивают долгосрочное планирование и координацию усилий государства, частного сектора и международных партнеров [5].

Международное сотрудничество является краеугольным камнем энергетической трансформации Узбекистана, обеспечивая доступ к финансовым ресурсам, передовым технологиям и международному опыту. Страна активно взаимодействует с ведущими глобальными и региональными организациями, такими как Международное энергетическое агентство (IEA), Азиатский банк развития (ADB), Экономическая комиссия ООН для Европы (UNECE), а также в рамках Центральноазиатской энергетической системы (CAPS). Эти партнерства способствуют реализации амбициозных целей по развитию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и повышению энергоэффективности, а также укреплению позиций Узбекистана как регионального лидера в области устойчивой энергетики.

Международное энергетическое агентство (IEA) играет ключевую роль в поддержке проектов ВИЭ в Узбекистане. В 2022 г. IEA опубликовало отчет «Solar Energy Policy in Uzbekistan: A Roadmap», в котором представлена детальная стратегия развития солнечной энергетики. Документ подчеркивает огромный потенциал Узбекистана в области гелиоэнергетики благодаря высокому уровню солнечной радиации (более 300 солнечных дней в году) и предлагает конкретные меры по строительству солнечных электростанций. Например, IEA поддерживает проект солнечной электростанции в Навоийской области мощностью 100 МВт, который стал первым крупным шагом в диверсификации энергобаланса страны. Кроме того, IEA предоставляет техническую экспертизу для внедрения современных технологий в области ветровой и гидроэнергии, а также рекомендации по повышению энергоэффективности в промышленности и строительстве. Программы IEA включают обучение специалистов и разработку стандартов для интеграции ВИЭ в национальную энергосистему, что способствует устойчивому развитию энергетического сектора [2].

Азиатский банк развития (ADB) является важным финансовым партнером, поддерживающим модернизацию энергетической инфраструктуры Узбекистана. В рамках «Country Partnership Strategy: Uzbekistan, 2019–2023» ADB выделил значительные средства на проекты по реконструкции устаревших электростанций и внедрению энергосберегающих технологий. Например, банк финансирует программу модернизации теплоснабжения в Ташкенте, которая позволила сократить потери тепла на 20% за счет внедрения современных изоляционных материалов и систем отопления. ADB также поддерживает развитие ВИЭ, финансируя строительство ветровых электростанций в Бухарской области и предоставляя гранты для разработки технико-экономических обоснований новых проектов. Кроме того, банк активно работает над повышением энергоэффективности в промышленном секторе, внедряя программы энергетического аудита и стимулируя предприятия к использованию энергосберегающих технологий. Эти инициативы способствуют снижению энергоемкости экономики и укреплению энергетической безопасности страны [3].

Экономическая комиссия ООН для Европы (UNECE) вносит значительный вклад в развитие инновационных подходов к устойчивому развитию энергетики. В обзоре «Innovation for Sustainable Development Review of Uzbekistan» (2021) UNECE подчеркивает необходимость интеграции цифровых технологий и инноваций в энергетический сектор. Например, организация рекомендует внедрение систем «умных» электросетей, которые позволяют оптимизировать распределение энергии и минимизировать потери. UNECE также поддерживает программы по повышению энергоэффективности зданий, предлагая стандарты и технологии для строительства энергоэффективных жилых и коммерческих объектов. Эти рекомендации особенно актуальны для Узбекистана, где значительная часть жилого фонда была построена в советский период и характеризуется низкой энергоэффективностью. UNECE также способствует обмену опытом между странами Центральной Азии, что помогает Узбекистану адаптировать лучшие международные практики к местным условиям [8].

Центральноазиатская энергетическая система (CAPS) играет важную роль в развитии региональной торговли энергией, что позволяет интегрировать ВИЭ в энергосистемы соседних стран. Узбекистан, как один из ключевых участников CAPS, активно работает над созданием инфраструктуры для экспорта электроэнергии, произведенной из ВИЭ, в страны Центральной Азии, такие как Казахстан и Кыргызстан. Например, в 2024 г. был запущен пилотный проект по экспорту солнечной энергии в Казахстан, что стало важным шагом в укреплении

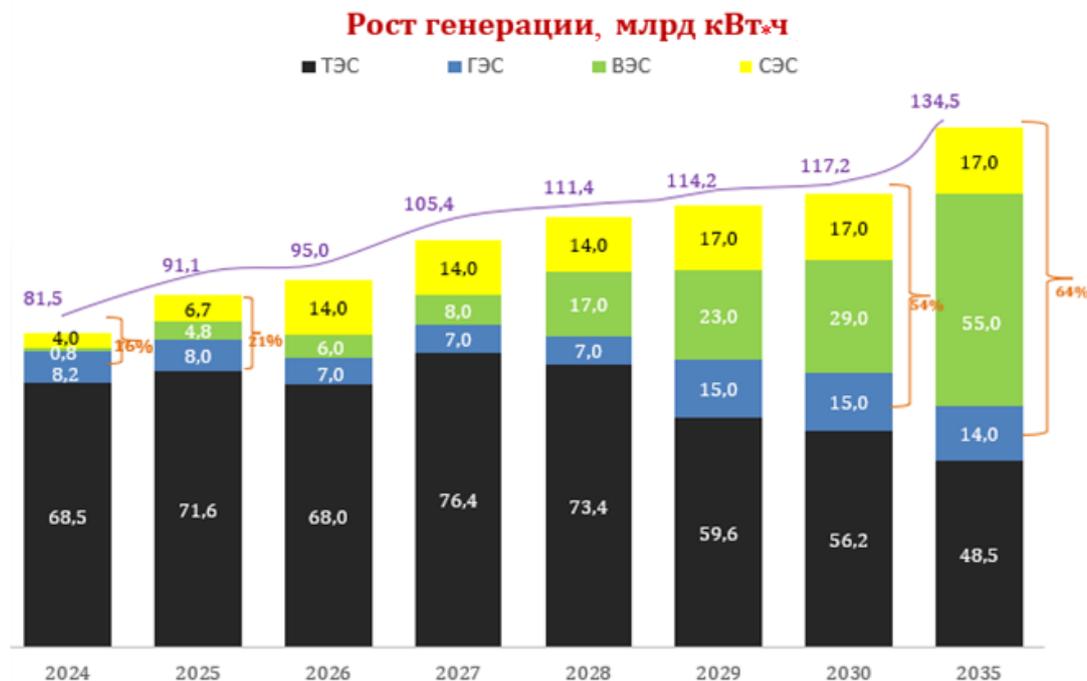
регионального сотрудничества. CAPS также поддерживает совместные проекты по строительству гидроэлектростанций, таких как Камбаратинская ГЭС, которые могут обеспечить стабильное энергоснабжение региона. Эти инициативы способствуют не только экономической интеграции, но и повышению устойчивости энергетических систем Центральной Азии к климатическим и экономическим вызовам [6].

Международное сотрудничество также включает участие в глобальных инициативах, таких как Парижское соглашение, которое обязывает Узбекистан сокращать выбросы парниковых газов. В рамках этого соглашения страна получила доступ к международным фондам, таким как Зеленый климатический фонд (GCF), которые финансируют проекты по развитию ВИЭ и энергоэффективности. Например, GCF выделил грант на строительство солнечной электростанции в Кашкадарьинской области мощностью 200 МВт, что способствует достижению цели по производству 40% электроэнергии из ВИЭ к 2030 г. Кроме того, сотрудничество с международными организациями позволяет привлекать иностранных инвесторов, таких как компании из Китая, Саудовской Аравии и ОАЭ, которые активно участвуют в строительстве солнечных и ветровых электростанций в Узбекистане [4].

Однако международное сотрудничество сталкивается с рядом вызовов. Во-первых, координация между различными международными партнерами требует значительных усилий, чтобы избежать дублирования проектов и обеспечить их соответствие национальным приоритетам. Во-вторых, доступ к международным фондам часто связан с жесткими требованиями по прозрачности и отчетности, что может замедлять реализацию проектов. В-третьих, недостаток квалифицированных местных специалистов ограничивает возможности для эффективного внедрения передовых технологий, предоставляемых международными партнерами [5]. Для преодоления этих вызовов Узбекистану необходимо развивать местные компетенции, включая программы подготовки кадров в области ВИЭ и энергоэффективности, а также совершенствовать регуляторную среду для привлечения иностранных инвестиций. В соответствии с прогнозными данными, приведёнными на рисунке, в Республике Узбекистан ожидается устойчивый рост объёмов производства электроэнергии с 81.5 млрд кВт·ч в 2024 г. до 134.5 млрд кВт·ч в 2035 г. В структуре генерации прослеживается ярко выраженная тенденция к снижению доли тепловых электростанций (с 68.5 до 48.5 млрд кВт·ч) при одновременном активном наращивании мощностей за счёт возобновляемых источников энергии (ВИЭ), включая солнечные (СЭС) и ветровые (ВЭС) электростанции. Доля ВИЭ в общем балансе генерации возрастает с менее чем 16 % в 2024 г. до 64 % в 2035 г, что свидетельствует о стратегическом курсе страны на декарбонизацию энергетического сектора и переход к устойчивой, экологически чистой энергетике. Значительный рост доли ветровой и солнечной энергии (с 4.9% в 2024 г. до 54.3% в 2035 г.) отражает реализацию государственной политики Узбекистана, направленной на диверсификацию энергетического сектора и снижение зависимости от традиционных углеводородных источников (см. рисунок).

Перспективы международного сотрудничества остаются многообещающими. Узбекистан может расширить взаимодействие с такими организациями, как Всемирный банк и Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР), которые предлагают дополнительные ресурсы для финансирования крупных энергетических проектов. Кроме того, участие в региональных инициативах, таких как «Один пояс, один путь», может привлечь

инвестиции из Китая для строительства инфраструктуры ВИЭ. Развитие трансграничных энергетических сетей в рамках CAPS также открывает возможности для экспорта «зеленой» энергии, что укрепит экономические позиции Узбекистана в регионе [6].



Прогноз роста объемов выработки энергии в Республике Узбекистан до 2035 г.

Узбекистан за последние годы создал прочную законодательную и стратегическую основу для развития возобновляемых источников энергии и повышения энергоэффективности, что свидетельствует о его твердой приверженности переходу к устойчивой энергетической системе. Эта трансформация является частью более широких усилий по достижению целей устойчивого развития и интеграции в глобальную «зеленую» экономику. Ключевые нормативные акты, включая указы Президента и законы, принятые в 2019–2025 гг., заложили фундамент для реформ, которые охватывают внедрение ВИЭ, модернизацию энергетической инфраструктуры и повышение энергоэффективности в промышленности, строительстве и жилищно-коммунальном хозяйстве. Законодательная база, такая как Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-940 и Закон РУз об электроэнергетике, обеспечивает правовую основу для энергосбережения и регулирования энергетического рынка, в то время как стратегические программы, такие как Национальная стратегия развития до 2030 г., устанавливающие амбициозные цели по достижению мощности ВИЭ в 27 ГВт и увеличению их доли до 40% в производстве электроэнергии к 2030 г. [1,7,9,10]. Эти цели подчеркивают стремление страны к снижению зависимости от ископаемого топлива и сокращению выбросов парниковых газов на 10% от уровня 2010 г.

Достижение этих целей требует значительных усилий в нескольких направлениях. Во-первых, модернизация устаревшей энергетической инфраструктуры, построенной, в основном, в советский период, является критически важной задачей. Потери электроэнергии в сетях достигают 15–20%, а теплотери в жилищном секторе составляют до 30%, что подчеркивает

необходимость внедрения современных технологий, таких как «умные» электросети и энергоэффективные системы отопления [4]. Во-вторых, привлечение инвестиций остается ключевым фактором успеха. За последние годы Узбекистан привлек более \$2 млрд иностранных инвестиций в проекты ВИЭ, включая солнечные и ветровые электростанции в Навоийской, Бухарской и Кашкадарьинской областях. Однако для достижения цели в 27 ГВт требуются дополнительные капиталовложения в размере \$10–15 млрд, что подчеркивает важность государственно-частного партнерства (ГЧП) и международного сотрудничества [5].

Международное сотрудничество с такими организациями, как IEA, ADB и UNECE, предоставляет доступ к финансовым и техническим ресурсам. Например, IEA поддерживает проекты солнечной энергетики, предоставляя дорожные карты и техническую экспертизу, а ADB финансирует модернизацию инфраструктуры и программы энергоэффективности [2, 3]. В рамках Центральноазиатской энергетической системы (CAPS) Узбекистан развивает региональную торговлю энергией, что позволяет интегрировать ВИЭ в энергосистемы соседних стран, таких как Казахстан и Кыргызстан [6]. Эти партнерства не только обеспечивают финансирование, но и способствуют трансферу технологий и обучению специалистов, что критически важно для создания устойчивой энергетической экосистемы.

Однако перед Узбекистаном стоят серьезные вызовы. Устаревшая инфраструктура требует значительных капитальных затрат, а низкая доля ВИЭ (около 2% в 2024 г.) подчеркивает необходимость ускорения строительства новых мощностей. Недостаток квалифицированных кадров и сложность координации международных проектов также замедляют прогресс. Для преодоления этих препятствий необходимо развивать местные компетенции через образовательные программы и совершенствовать регуляторную среду для привлечения инвесторов. Например, упрощение процедур лицензирования и предоставление государственных гарантий могут увеличить приток частного капитала [4].

Перспективы энергетической трансформации Узбекистана остаются многообещающими. Страна обладает уникальным потенциалом для развития солнечной и ветровой энергетики благодаря благоприятным климатическим условиям и обширным пустынным территориям, пригодным для строительства крупных электростанций. Успешная реализация проектов, таких как солнечная электростанция в Кашкадарьинской области мощностью 200 МВт, финансируемая “Зеленым климатическим фондом”, демонстрирует способность страны привлекать международные ресурсы [6]. Кроме того, участие в глобальных инициативах, таких как Парижское соглашение, и региональных проектах, таких как «Один пояс, один путь», открывает возможности для дополнительного финансирования и технологического обмена.

Для достижения поставленных целей Узбекистану необходимо сосредоточиться на нескольких ключевых направлениях. Во-первых, ускорение реализации проектов ВИЭ требует упрощения бюрократических процедур и создания прозрачной регуляторной среды. Во-вторых, развитие человеческого капитала через программы подготовки специалистов в области «зеленых» технологий позволит эффективно внедрять передовые решения. В-третьих, расширение международного сотрудничества с такими организациями, как Всемирный банк и ЕБРР, может обеспечить дополнительные ресурсы для крупных проектов. Наконец, интеграция в региональные энергетические рынки через CAPS позволит Узбекистану не только удовлетворять внутренний спрос, но

и стать экспортером «зеленой» энергии, укрепляя свои экономические позиции в Центральной Азии.

В долгосрочной перспективе Узбекистан имеет потенциал стать лидером в области устойчивой энергетики в регионе. Успех будет зависеть от эффективной реализации стратегий, привлечения инвестиций и модернизации инфраструктуры. Развитие местных ресурсов и расширение международного сотрудничества позволят стране построить современную энергетическую систему, соответствующую глобальным стандартам устойчивого развития и способную обеспечить экономическую стабильность и экологическую устойчивость для будущих поколений [4–6].

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. <https://lex.uz>.
2. International Energy Agency. Solar Energy Policy in Uzbekistan: A Roadmap. <https://www.iea.org/reports/solar-energy-policy-in-uzbekistan-a-roadmap>. 2022.
3. Asian Development Bank. Country Partnership Strategy: Uzbekistan, 2019–2023. <https://www.adb.org/sites/default/files/institutional-document/510251/cps-uzb-2019-2023.pdf>. 2019.
4. Rakhimov M., Mukhammadiev B. Renewable Energy Development in Uzbekistan: Current Trends and Policy Implications // Energy Reports. 2023. №9. P.1234–1245. <https://doi.org/10.1016/j.egyр.2023.01.045>.
5. Umarov A., Eshchanov B. Energy Efficiency Policies in Central Asia: A Case Study of Uzbekistan // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024. №189. P.113890. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113890>.
6. Khodjaev S., Turdieva D. Green Economy Transition in Uzbekistan: Challenges and Opportunities // Journal of Cleaner Production. 2025. №412. P.137456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.137456>.
7. Стратегия действий на 2017–2021 годы; Стратегия инновационного развития на 2019–2021 гг. Указы Президента Республики Узбекистан и постановления Кабинета Министров Республики Узбекистан (№ УП-4422, УП-4779, УП-436, УП-77, УП-222, УП-100, УП-63, УП-133, № 252, № 319, № 690, № 300); Закон Республики Узбекистан № ЗРУ-940 от 7 августа 2024 г. Закон РУз об электроэнергетике от 7 августа 2024 г.
8. United Nations Economic Commission for Europe. Innovation for Sustainable Development Review of Uzbekistan. <https://unece.org/innovation-sustainable-development-reviews>. 2021.
9. Стратегия инновационного развития на 2019–2021 г.
10. Национальная стратегия развития до 2030 г.

Национальный научно-исследовательский институт
возобновляемых источников энергии при
Министерстве энергетики Республики Узбекистан

Дата поступления
11.04.2025

YUQORI INERSIYALI ASINXRON ELEKTR YURITMANI OPTIMAL ISHGA TUSHIRISH

Ushbu maqolada maksimum prinsipi va Nyuton-Rafson usulidan foydalangan holda yuqori inersiali asinxron elektr yuritmaning optimal ishga tushirish hisoblarini EHM yordamida amalga oshirish uslubiyati taklif etiladi. Ushbu metodika asosida yuqori inersiali chastota bilan boshqariladigan asinxron elektr yuritmaning issiqlik jarayonlarini hisobga olgan holda optimal dinamik ish rejimlari aniqlanadi. Shuningdek, dinamik rejimlarda quvvat sarfini kamaytirish orqali elektr motorining energiya samaradorligini oshirish yo'llari ko'rib chiqiladi. Olingan natijalar elektr yuritmani ishlab chiquvchi, loyihalovchi va ekspluatatsiya qiluvchilarga xalq xo'jaligining turli tarmoqlari uchun mo'ljallangan chastotaviy boshqariladigan asinxron elektr yuritma ishonchliligining energetik va ekspluatatsion samaradorligini oshirish uchun zaxira imkoniyatlarini aniqlashga imkon beradigan optimal boshqaruvni hisoblash algoritmidan, hisob-grafik ma'lumotlardan foydalanish bo'yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar beradi.

Kalit so'zlar: yuqori inersiyali elektr yuritma, asinxron motor, matematik model, chastotaviy boshqarish, optimallashtirish.

M.M. Туляганов

Оптимальный пуск высокоинерционного асинхронного электропривода

В данной статье предложена методика выполнения оптимальных пусковых расчетов высокоинерционных асинхронных электродвигателей на ЭВМ с использованием принципа максимума и метода Ньютона – Рафсона. На основе данной методики определены оптимальные динамические режимы работы с учетом тепловых процессов высокоинерционного асинхронного электропривода. Рассмотрены пути повышения энергоэффективности электродвигателя за счет снижения энергопотребления в динамических режимах. Полученные результаты предоставляют научно обоснованные рекомендации разработчикам, проектировщикам и эксплуатационникам по использованию оптимального алгоритма расчета управления и расчетных данных, которые позволят определить резервные возможности повышения энергетического и эксплуатационного эффективности частотно-регулируемого асинхронного электропривода, предназначенного для различных отраслей народного хозяйства.

Ключевые слова: высокоинерционный электропривод, асинхронный двигатель, математическая модель, частотное регулирование, оптимизация.

M.M. Tulyaganov

Optimal starting of a high-inertia asynchronous electric drive

In this article, a methodology is proposed for performing optimal starting calculations of high-inertia asynchronous electric motors on a computer using the maximum principle and the Newton-Raphson method. Based on this methodology, optimal dynamic operating modes are determined, taking into account the thermal processes of the high-inertia asynchronous electric drive. Ways to improve the energy efficiency of the electric motor by reducing energy consumption in dynamic modes are also considered. The obtained results provide scientifically grounded recommendations for developers, designers, and operators on the use of an optimal control calculation algorithm and calculated data, which will make it possible to identify reserve opportunities for improving the energy and operational efficiency of frequency-controlled asynchronous electric drives intended for various industries.

Keywords: high-inertia electric drive, asynchronous motor, mathematical model, frequency control, optimization.

Elektromexanik tizimlarning ish rejimlarini optimallashtirish muammosi uzoq vaqt davomida mutaxassislarning diqqat markazida bo'lib kelmoqda. Asinxron chastota bilan boshqariladigan elektr yuritmani boshqarish qonunlarini yanada takomillashtirish bo'yicha jadal ishlar olib borilmoqda [1-9].

Elektromexanik obyektlarda sodir bo'ladigan fizik jarayonlar, odatda, boshqarilishi mumkin bo'lib, ular texnologik jarayon talablariga qarab turli usullar bilan amalga oshiriladi. Shu munosabat bilan, jarayonni optimal boshqarish asosida obyektning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini yaxshilashni ta'minlaydigan eng yaxshi rejimni ko'p sonli variantlar orasidan aniqlash muammosi yuzaga keladi. Gap, masalan, tezkorlik mezoni asosida optimal rejimni tanlash haqida borishi mumkin. Bunda jarayonning maqsadiga eng qisqa vaqt ichida erishish yoki unga minimal energiya sarfi bilan yetib borish kabi talablar qo'yiladi. Matematik shaklda ifodalanganda, bu masalalar optimal boshqaruv muammolari sifatida qaraladi.

Xalq xo'jaligining turli sohalarida qator asinxron elektr yuritmalari og'ir ishga tushirish va tormozlash rejimlarida ishlaydi. Bunday yuritmalarga yuqori inersiyali elektr yuritmalari kiradi, masalan, trubomolekulyar nasoslar, ko'tarish-transport mexanizmlari, balanslash stanoklari, yuqori tezlikli sentrifugal, markazdan qochma separatorlar, gaz turbinalari, mexanik energiya akkumulyatorlari va boshqalar. Bunday mexanizmlarning asosiy xususiyati – ishga tushirish jarayonining uzoq davom etishidir. Yuqori inersiyali mexanizmlarning ishga tushishi davomida katta yo'qotishlar natijasida sezilarli miqdorda issiqlik energiyasi ajralib chiqadi [10], bu esa asinxron motor izolatsiyasining qabul qilib bo'lmaydigan darajada qizib ketishiga va natijada motorning ishdan chiqishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli, muhim ilmiy-texnik masala yuzaga keladi: o'tish jarayonidagi yo'qotishlarni kamaytirish va yuqori inersiyali asinxron elektr yuritmalarning tezkorligini oshirish. Ushbu muammoni hal qilishning istiqbolli yo'llaridan biri matematik modellar va optimal boshqaruv nazariyasidan foydalangan holda optimal boshqaruv ta'sirlarini aniqlashdir.

Yuqori inersiyali avtomatlashtirilgan chastota bilan boshqariladigan elektr yuritmalarining dinamikasini optimallashtirish masalalarini o'rganishning eng samarali usullaridan biri ularning EHM yordamida matematik modellashtirilishidir. Bu usul elektr yuritmalarning chegaraviy imkoniyatlarini baholash uchun optimal boshqaruv qonunlarini aniqlash hamda ularning boshqaruv, energiya samaradorligi va ekspluatatsion xususiyatlarini yaxshilash imkonini beradi.

Yuqori inersiyali chastota bilan boshqariladigan asinxron elektr yuritmada kechadigan elektromexanik va issiqlik jarayonlarini tavsiflovchi integral tenglamalar tizimini ko'rib chiqamiz va ularga tezkorlik funksionalini qo'shamiz:

$$\left. \begin{aligned} \theta_m &= \int_{t_0}^T \left(\frac{P_i}{C_i} + k_1 \theta_{am} - k_2 \theta_m \right) dt \\ \omega &= \int_{t_0}^T \left(\frac{p}{J} (M_e - M_q) \right) dt \\ J_T &= \int_{t_0}^T dt \end{aligned} \right\} , \quad (1)$$

bu yerda θ_m – motorni o'rtacha harorati; ω – valning burchak tezligi; C_i – motorning issiqlik sig'imi; k_1, k_2 – motorning atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvini aks ettiruvchi koeffitsiyentlar; p – motorning qutblar jufti soni; J – asinxron motor aylanuvchi qismlarining inersiya momenti; M_e – elektromagnit moment; M_q – valdagi qarshilik momenti.

Umumlashtirilgan (1) matematik modelda, asinxron motor barcha parametrlari o'zaro ta'sirini hisobga olgan holda, yagona gomogen jism sifatida ko'rib chiqiladi va u o'z ichiga ikkita integral tenglamani oladi: birinchisi asinxron motorning atrof-muhit bilan issiqlik almashinuvini tavsiflovchi issiqlik balansi tenglamasi, ikkinchisi elektr

yuritmaning harakat tenglamasi. (1) modeldagi issiqlik almashinuvi tenglamalari klassik nostatsionar issiqlik uzatish nazariyasi asosida yozilgan [11].

O'tish jarayoni davomida issiqlik yo'qotishlari P_i sifatida asinxron motorning stator va rotor o'ramlaridagi elektr yo'qotishlari olinadi [12]. Tizim (1) ni o'zgartiramiz:

$$\left. \begin{aligned} \theta_m &= \int_{t_0}^T \left[m_1 \Phi^2 C_k^2 f_{1n}^2 \frac{\left[r_1 + \frac{r_1 x_2'}{x_0} \right]^2 \beta^2 + \frac{r_1^2 x_2'^2}{x_0^2} + r_1 r_2 \beta^2}{r_1 (x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2)} + k_1 \theta_{am} - k_2 \theta_m \right] dt \\ \omega &= \int_{t_0}^T \frac{p}{J} \left[\frac{p m_1 \Phi^2 C_k^2 f_{1n}^2 r_2' \beta}{\omega_{1n} (x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2)} - M_q \right] dt \\ J_T &= \int_{t_0}^T dt \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2) – tenglamalarni yozishda [12] dagi bayonotlar asos bo'ldi. Bu yerda quyidagi belgilashlar qabul qilingan: β -absolyut sirpanishning nisbiy parametri; m_1 – fazalar soni; r_1 – statorning aktiv qarshiligi; r_2' – rotorning aktiv qarshiligi; x_1, x_2, x_0 – stator, rotor va magnitlanish tarmog'ining induktiv qarshiligi; Φ – havo bo'shlig'idagi magnit oqim; C_k – asinxron motorning konstruktiv doimiyligi; f_{1n} – asinxron motorning nominal tarmoq chastotasi; ω_1 – stator maydonining aylanish burchak chastotasi.

Asinxron motorning o'rtacha qizish haroratini minimallashtiramiz va shu bilan birga elektr yuritmaning koordinatalarini va optimal boshqaruv ta'sirlarini topamiz.

θ_m ni minimallashtirish asinxron motor stator va rotor tokini minimallashtirish bilan bog'liq. O'tish jarayonida ushbu o'ramlardagi elektr yo'qotishlar asosiy yo'qotishlar bo'lib, mos ravishda $m_1 I_2'^2 r_1'$ va $m_1 I_2'^2 r_2'$ ga tengdir [12]. Bunday vazifa qo'yilishi asinxron motor stator tokining kvadratini minimallashtirishga asoslangan chastotali boshqaruv qonunini rivojlantirish hisoblanadi [13].

Asinxron motorning po'latining magnit to'yinganligini hisobga olmaslik hisob-kitoblarda sezilarli xatoliklarga olib keladi, shuning uchun to'yinganlik [13] manbada keltirilgan Arkhangelsky formulasi yordamida hisobga olinadi, u magnitlash toki orqali oqimni ifodalaydi:

$$\Phi = A \cdot \arctg B i_0. \quad (3)$$

Bu yerda A va B – aproksimatsiya koeffitsiyentlari. Magnitlanish zanjirining qarshiligi x_0 (matematik model formulalariga kiritilgan) quyidagicha hisoblanadi:

$$x_0 = b - c \Phi^2, \quad (4)$$

bu yerda b va c doimiy koeffitsiyentlardir.

(2) formulada ifodalangan masalani yechish uchun avval maksimum printsiptan foydalanamiz [14]. Maksimum printsiptiga ko'ra, (2) - tenglama yordamchi, ya'ni qo'shma tizim ψ bilan to'ldiriladi. Keyin esa oraliq Gamilton H funksiyasini quramiz. Ushbu $\max H$ talab optimal shartning zaruriy sharti hisoblanadi.

Boshqaruvchi sifatida oraliq o'zgaruvchilarni olamiz: absolyut sirpanish parametri β va x_0 . Buning uchun oraliq H funksiyaning xususiy hosilalarini β va x_0 bo'yicha hisoblab, ularni nolga tenglashtiramiz.

Agar quyidagi belgilashlarni kiritadigan bo'lsak:

$$k_5 = r_1^2 r_2' k_3 \psi_1 \left[1 + \frac{2x_2'}{x_0} + \frac{r_2'}{x_0} \right], \quad k_6 = (x_2' r_2' k_4 \psi_2)^2, \quad k_7 = -x_2' k_4 \psi_2,$$

$$a_1 = -\beta(\psi_1 k_3 \beta r_1^2 + k_4 \psi_2 + r_1 r_2^2 \beta \psi_1 k_3), \quad a_2 = 0,$$

$$a_3 = \psi_1 k_3 r_1^2 (x_2^2 \beta - 2\beta b x_2' + r_2'^2), \quad a_4 = -2r_1^2 b k_3 \psi_1 (r_2'^2 + \beta^2 x_2'^2),$$

$$F(\bar{A}, \bar{x}_0) = a_1 x_0^3 + a_2 x_0^2 + a_3 x_0 + a_4, \quad \bar{A} = [a_1, a_2, a_3, a_4],$$

natijada, chegaraviy ikki nuqtali masalani yakuniy shaklda yozish mumkin, uning yechimi qarshilik momentini o'zgarimas sharoitida chastota bilan boshqariladigan asinxron motorning optimal boshqaruv ta'sirlarini aniqlaydi.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\theta_m}{dt} &= k_3 \frac{b-x_0}{c} \cdot \frac{\left[r_1 + \frac{r_1 x_2'}{x_0} \right]^2 \beta^2 + \frac{r_1^2 x'^2}{x_0^2} + r_1 r_2 \beta^2}{r_1 (x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2)} + k_1 \theta_{am} - k_2 \theta_m \\ \frac{d\omega}{dt} &= k_4 \frac{(b-x_0)\beta}{x_2'^2 \beta^2 + r_2'^2} - \frac{p}{J} M_q \\ \frac{d\psi_1}{dt} &= k_2 \psi_1 \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= 0 \\ \beta^* &= \frac{-k_5 \pm \sqrt{k_5^2 + k_6}}{k_7} \\ F(\bar{A}, x_0^*) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Chegaraviy shartlar:

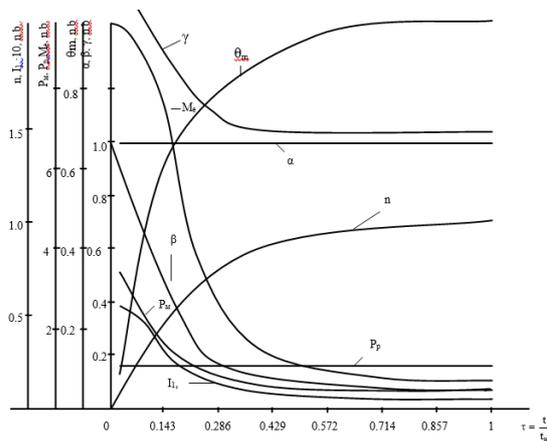
$$\theta_{\partial(t=0)} = \theta_{c_0}; \theta_{\partial(t=T)} = \theta_{c_T}; \theta_{\partial(t=T)} = \theta_{c_T}; \omega_{(t=0)} = \omega_0; \omega_{(t=0)} = \omega_T.$$

Keyingi bosqichda ushbu masala EHM yordamida Nyuton-Rafson usuli [15] asosida yechiladi. Bayon etilgan algoritm [15] asosida AЭ 92-4 asinxron motorning optimal ishga tushirish hisob-kitobi amalga oshirildi. Motorning quvvati 40 kVt bo'lib, himoyalangan konstruksiyaga va yuqori inersiya momentiga ega. Hisob-kitoblar elektr yo'qotishlarini minimallashtirish va to'yinganlikni hisobga olish kriteriyalari asosida bajarildi. Hisob-kitoblarga ko'ra, ish mexanizmi va aylanuvchi qismlarning umumiy inersiya momenti rotorning o'z inersiya momentidan deyarli 17 baravar katta qilib olindi.

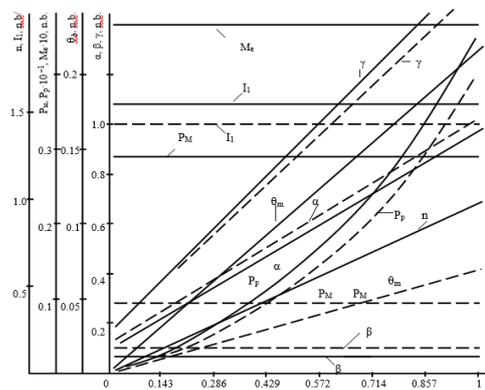
Po'latdagi yo'qotishlar P_p ma'lum boshqaruv ta'sirlari asosida [12] formulasi bo'yicha hisoblangan:

$$P_p = \frac{k_r + k_{ex} f_{1n} \alpha}{C_1^2 f_{1n}} U_n^2 \gamma^2 \frac{X^2 \frac{\beta}{r_2} + \frac{r_2'}{\beta}}{R^2(\alpha, \beta)} \alpha. \quad (6)$$

Nominal ta'minot chastotasida (1-rasmda) va optimal ishga tushirish rejimida (2-rasmda) boshlang'ich shartlarni hisobga olgan holda, ishga tushirishning asosiy parametrlarining grafigi nisbiy kattalikda keltirilgan.



1-rasm. AE-92 –402 asinxron motorni nominal tarmoq chastotasida ishga tushirish



2-rasm. AE-92 –402 asinxron motorning chastota bilan boshqariladigan elektr yuritma tizimlaridagi optimal ishga tushirish egri chiziqlari

2-rasmdagi 1-egri chiziqlar asinxron motorning stator va rotoridagi elektr yo‘qotishlarini minimallashtirish optimallik mezoniga mos keladi, 2-egri chiziqlar esa faqat asinxron motor statoridagi elektr yo‘qotishlarini minimallashtirish mezoniga mos keladi.

Tanlangan rejimga miqdoriy baho berish uchun hisoblash natijalari tarmoqning nominal chastotasida ishga tushirish rejimi natijalari bilan taqqoslanadi. Asosiy parametr sifatida, o‘rtacha haroratdan tashqari, asinxron motorning nominal ish rejimidagi parametrlari qabul qilingan. Qizishning asosiy harorati sifatida esa asinxron motorning sovuq holatdan nominal aylanish tezligigacha va tarmoqning nominal chastotasida ishga tushirilgandagi o‘tish jarayonining oxirida asinxron motorning o‘rtacha qizish harorati qabul qilingan. Grafiklardan ko‘rinib turibdiki (1, 2- rasmga qarang), asinxron motor AE92-4 uchun stator va rotoridagi elektr yo‘qotishlarini minimallashtirish rejimidagi o‘rtacha harorat asinxron motorning nominal chastotadagi ishga tushishiga nisbatan nazariy jihatdan deyarli 77% ga pasayishi mumkin.

Agar o‘tish jarayoni $\tau = t/t_n = 1$ da tugaydi deb hisoblansa, stator va rotoridagi elektr yo‘qotishlarini minimallashtirish rejimidagi barcha elektromexanik va issiqlik bog‘liqliklari qiymatlari 100% deb qabul qilinsa, quyidagilarni ta’kidlash mumkin: stator va rotoridagi elektr yo‘qotishlarni minimallashtirish bo‘yicha optimal chastotali ishga tushirishda, $n = n_i = 1405$ ayl/min nominal aylanish chastotasiga erishilganda, nisbiy absolyut sirpanish parametri β statoridagi yo‘qotishlarni minimallashtirish rejimiga nisbatan 23.1% ga farq qiladi, asinxron motorning γ nisbiy ta’minot kuchlanishi esa 7,3% ga farq qiladi. Stator toki mos ravishda 6.6% ga, asinxron motorning nisbiy ta’minot chastotasi – 1.8% ga, po‘latdagi yo‘qotishlar – 15.3% ga, misdagi yo‘qotishlar va asinxron motorning o‘rtacha harorati esa 67.3% ga oshadi. Ikkala rejimda ham valning burchak tezliklari va elektromagnit momentlari bir-biriga mos keladi.

Yuqorida aytilganlardan kelib chiqadiki, stator va rotoridagi elektr yo‘qotishlarni minimallashtirish rejimi statoridagi elektr yo‘qotishlarni minimallashtirish rejimidan asinxron motor rotorining o‘ramidagi qo‘shimcha elektr yo‘qotishlarni hisobga olish bilan farq qiladi. Shunday qilib, yuqori inersiyali elektr yuritmada asinxron motor rotor o‘ramidagi elektr yo‘qotishlarni hisobga olish asinxron motorning cheklovchi qismlarining haddan tashqari qizib ketishining oldini olishga va motorning issiqlik imkoniyatlaridan to‘liq foydalanishga imkon beradi. Olingan natijalar elektr yuritmani

ishlab chiquvchi, loyihalovchi va ekspluatatsiya qiluvchilarga chastotaviy boshqariladigan asinxron elektr yuritma energetik va ekspluatatsion samaradorligini oshirish uchun zaxira imkoniyatlarini aniqlashga imkon beradi.

Grafikdan (2-rasm) ko‘rinib turibdiki, optimal boshqaruv qonuni aylanish tezligining o‘zgarishini monoton va chiziqli shaklga yaqin deb taxmin qiladi. Bu esa o‘tish jarayonida tezlanishni barqarorlashtirish orqali elektr yuritmaning yuqori texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlariga erishish mumkinligini anglatadi.

Tavsiya etilgan uslub va optimal ishga tushirishlarni hisoblash algoritmi hamda olingan boshqaruv ta’sir qonunlari, optimal dinamik rejimlarni amalga oshiruvchi chastotaviy boshqariluvchi elektr yuritmaning avtomatik boshqarish va rostdash tizimlariga aniq talablarni shakllantirish imkonini beradi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Voron O. A., Tuluaganov M.M., Petrushin A.D. Improvent of the power supply system for isothermal rolling stock // Journal: Proceedings of the Rostov State Transport University. ISSN: 1818-5509. 2020, No. 4 (53), P. 28 – 32; <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44379615>.
2. Petrushin A.D., Smachney V.Yu., Tuluaganov M.M. Electric drive for transport systems // Journal: Proceedings of the Rostov State Transport University. ISSN:1818-5509.2019.No.4(53).P.91–95. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41602921>.
3. Tulyaganov M. Optimization of natural gas combustion in furnace of steam boilers // E3S Web of Conferences 216, 01155, 2020. RSES. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601155>.
4. Tulyaganov M. Solution of optimization problems of high-inertial asynchronous electric drive // E3S Web of Conferences 216. 01156. 2020. RSES. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601156>.
5. Khashimov A.A., Kan.L.T., Toirov E.A. Development, creation and implementation of energy-efficient devices for smooth start-up of asynchronous electric drives of auxiliary mechanisms of drilling rigs // Proceedings of the IX International (XX All-Russian) conference on the automated electric drive. AEP-2016. P. 532 – 536; www.elibrary.ru/item.asp?id=28396368.
6. Tulyaganov M., Umarov Sh. Improving the energy and operational efficiency of an asynchronous electric drive // AIP Conf. Proc. 3152, 030014 (2024); <https://doi.org/10.1063/5.0218876>.
7. Tulyaganov M., Mirkhaydarov M., Atajiev Sh., Ibragimov Y. Application of numerical optimization methods for solving the problems of researching the reliability of electric drives control // AIP Conference Proceedings 2552, 040013 2023; <https://doi.org/10.1063/5.0111953>.
8. Petrushin Aleksandr D., Tulyaganov Murot. Optimization of Dynamic Modes of an Asynchronous Electric Drive // Proceedings - 2023 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM, 2023. P.464–468; <https://doi:10.1109/ICIEAM57311.2023.10139256>.
9. Tulyaganov M. Optimum control of an asynchronous electric drive. APITECH-IV – 2022 // IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series 2388. 2022. 012099 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2388/1/012099.
10. Зюзев А.М., Метельков В.П. О проблеме перегрева обмотки ротора асинхронных двигателей в пусковых режимах высокоинерционных электроприводов нефтегазовой и горной промышленности // Известия

- Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 7. С.96–103.
11. Боляев И.П. Расчет тепловых процессов в электрических машинах на электронной модели // Изв.вузов. Сер. “Электромеханика”. 1961. №8. С.22 – 39.2.
 12. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергоиздат, 1982. – 216с.
 13. Шубенко В.А., Шрейнер Р.Т., Мищенко В.А. Оптимизация частотно-управляемого асинхронного электропривода по минимуму тока // Электричество. 1970. №9. С.23 – 25.
 14. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Физматгиз, 1961. – 391с.
 15. Хашимов А.А., Туляганов М.М. Решение задач оптимизации высокоинерционного автоматизированного электропривода методом Ньютона-Рафсона с расширенной областью применения // Журнал “Электротехника”. М., 2005. №1. С.15 – 20.

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat
texnika universiteti

04.04.2025
qabul qilingan

Хроника ПРОФЕССОР КАМАЛОВ ТОЛЯГАН СИРАЖИДДИНОВИЧНИНГ ЁРҚИН ХОТИРАСИГА

Камалов Толяган Сиражиддинович 1935 йил 13 май куни Тошкент шаҳрида хизматчилар оиласида туғилган. Миллати — ўзбек. 1954 йилда Ўрта Осиё политехника институтининг Энергетика факультетига ўқишга кириб, уни 1959 йилда муваффақиятли тамомлаган.

Унинг меҳнат фаолияти куйидагича йўлга қўйилган: 1959–1961 йилларда Ўзбекистон Фанлар академияси Энергетика ва автоматика институтида кичик илмий ходим, Ўзбекистон Фанлар академияси Энергетика ва автоматика институтида: 1961–1963 йилларда Фанлар академияси Ҳисоблаш марказида катта муҳандис. 1963–1966 йилларда кичик илмий ходим, 1966–1969 йилларда аспирант, 1970–1979 йилларда катта илмий ходим, 1979–1993 йилларда лаборатория мудири, 1993–2003 йилларда институт директорининг илмий ишлар бўйича ўринбосари, 2003–2021 йилларда эса лаборатория мудири сифатида самарали меҳнат қилган.



1969 йилда “Тиристорли частота ўзгартиргич — ўзгарувчан ток двигатели тизимини тадқиқ этиш ва унинг ишончлилигини ошириш чора-тадбирлари” мавзусида номзодлик диссертациясини, 1995 йилда эса “Суғориш тизимлари электр насос станциялари режимларини бошқариш” мавзусида докторлик диссертациясини ҳимоя қилди. 2010 йилда унга профессор унвони берилди.

Камалов Толяган Сиражиддинович энергетика соҳасида таниқли олим, ўз илмий мактабини яратган мутахассис сифатида катта обрў қозонди. Унинг тадқиқотлари ростланадиган электр юритма, синхрон электр юритмани оптимал бошқариш, юқори самарали, энергия ва ресурс тежамкор технологиялар, техник воситаларни ишлаб чиқиш ва уларни амалиётга жорий этишга йўналтирилган.

Унинг раҳбарлигида қатор муҳим меъёрий ҳужжатлар ишлаб чиқилиб, тасдиқланди ва чоп этилди, жумладан:

- «Автомобил ҳаракат воситалари ва йўл-қурилиш машиналарида ёнилғи ва мойлаш материаллари сарфи меъёрлари» (узбек ва рус тилларида, 2013 й., 2500 нусхада).

- «Истеъмолчиларнинг электр қурилмаларини техникавий эксплуатация қилиш қоидалари».

- «Электр қурилмаларда ҳимоя воситаларини қўллаш ва синаш қоидалари».

- «Энергетик корхоналар учун ёнгин хавфсизлиги қоидалари».
- «Электр ускуналарини синаш қоидалари ва меъёрлари».
- «Истеъмолчиларнинг иссиқлик истеъмол қилувчи қурилмаларини эксплуатация қилиш ва хавфсизлик қоидалари».
- «Электр қурилмаларни эксплуатация қилишда хавфсизлик техникаси қоидалари».
- «Электр қурилмаларнинг тузилиши қоидалари» (IV бўлим — тақсимловчи қурилмалар ва подстанциялар).

Мазкур қўлланмалар энергетика соҳасидаги муҳандис-техник ходимлар учун амалий қўлланма вазифасини ўтади.

Камалов Толяган Сиражиддиновичнинг раҳбарлигида 2 та фан доктори ва 8 та номзод тайёрланган, 30 дан ортиқ магистрлар илмий изланишларни муваффақиятли якунлаган. У Тошкент давлат техника университети ва Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти миллий тадқиқот университетида махсус фанлардан маърузалар ўқиб, давлат имтиҳон комиссияси раиси ва аъзоси сифатида фаолият юритган.

Олимнинг раҳбарлигида суғориш насос ускуналарининг физикавий моделлари яратилган, автоматлаштириш ишлари амалга оширилган ҳамда 20 дан зиёд муаллифлик гувоҳномалари ва патентлар олинган. Уларнинг кўп қисми амалиётга жорий этилган.

Камалов Толяган Сиражиддинович — 300 дан ортиқ илмий иш, жумладан, 5 та монография муаллифи. Унинг мақолалари республика ва халқаро нуфузли илмий журналларда чоп этилган. Тадқиқотлари натижасида кон-металлургия саноати электр юритмалари, суғориш тизимларининг йирик насос станциялари, автомобилсозлик каби юқори энергия талаб қилувчи соҳаларда технологик жараёнларни самарали бошқариш усуллари ва тизимлари ишлаб чиқилиб, амалиётга жорий этилган.

Унинг раҳбарлигида энергия ва ресурс тежашга қаратилган қатор хўжалик шартномалари бажарилиб, уларнинг натижалари республика иқтисодиётининг реал секторига, жумладан, «Ўзэнергоинспекция», Сув хўжалиги вазирлиги, Олмалик ва Навоий кон-металлургия комбинатлари, «Ўзавтосаноат», «Ўзкимёсаноат», «Ўзметкомбинат», «Аммофос-Максам», «Бекободцемент», «Муборакнефтегазмонтаж» каби йирик корхоналарга жорий этилган.

Олимнинг самарали хизматлари давлат мукофотлари билан тақдирланган:

- «Меҳнатдаги ютуқлари учун» медали (1986 й.).
- «Меҳнат фахрийси» медали (1987 й.).
- «Ўзбекистоннинг энергетика фахрийси» фахрий унвони (1986 й.).
- «Меҳнат шухрати» ордени (2007 й.).

Хулоса қилиб айтганда, профессор Камалов Толяган Сиражиддинович бутун умри ва фаолиятини энергетика соҳасини ривожлантиришга, илмий мактаб яратишга ва шогирдлар тайёрлашга бағишлади. Унинг ёрқин хотираси ҳамкасблари, шогирдлари ва бутун илм-фан жамоатчилиги қалбидан изчил ўрин олган.

**К 80-летию академика
АЛЛАЕВА КАХРАМАНА РАХИМОВИЧА**

Кахраман Рахимович Аллаев родился в 1945 г. в Хорезмской области Узбекистана в рабочей семье. В 1963 г. закончил школу-интернат г. Хива с золотой медалью и в том же году поступил в Московский энергетический институт (ныне – Национальный исследовательский университет – НИУ МЭИ), который закончил в 1969 г. по специальности «Инженер - гидроэнергетик-электромеханик».



В 1969 г. начал трудовую деятельность в Ташкентском политехническом институте (ныне – Ташкентский государственный технический университет – ТашГТУ) на должности ассистента кафедры «Электрические сети и системы».

В 1979 г. защитил диссертацию на соискание учёной степени кандидата технических наук по анализу переходных режимов электрических систем при совместной работе синхронных и асинхронных генераторов в Сибирском научно-исследовательском институте энергетики (Новосибирск), а в 1991 г. – докторскую диссертацию в Московском энергетическом институте по проблеме повышения устойчивости и надёжности современных электрических систем применением в их составе крупных асинхронных турбогенераторов.

В 1993 г. К.Р. Аллаеву присвоено учёное звание профессора. В 1996 г. избран академиком Международной Академии электротехнических наук, в 1999 г. – академиком Международной Академии наук Высшей школы, в 2017 г. – академиком Академии наук Республики Узбекистан. В 2024 г. избран «Почётным профессором» НИУ МЭИ.

Основными направлениями научных исследований академика К.Р. Аллаева и его научной школы являются:

закономерности развития мировой и Узбекской энергетики и принципы управления в энергетике;

разработка энергобалансов на кратко- и долгосрочную перспективу, обеспечивающих энергетическую устойчивость и безопасность страны;

методы матричного моделирования нормальных и нестационарных режимов больших ЭЭС на основе функций Ляпунова в квадратичной форме и технологий вложения систем;

оперативные методы определения пределов статической устойчивости ЭЭС, обеспечивающих необходимую точность законов

регулирования возбуждения генераторов и демпфирование колебаний ЭЭС;

проблемы устойчивости и эффективности комплексных гидроэнергетических режимов современных энергосистем с крупными насосными станциями;

теоретические и практические исследования оценки и поддержания качества электроэнергии у потребителей.

В процессе исследований им выдвинута и обоснована **принципиальная идея** о том, что в долгосрочной перспективе малоуглеродное развитие энергетики мира, а также Узбекистана должно быть основано на симбиозе возобновляемых и ядерных источников энергии.

Профессором К.Р. Аллаевым впервые доказана адекватность условий устойчивости электроэнергетических систем, доставляемых критериями Гурвица с условиями, получаемыми функцией Ляпунова в квадратичной форме; впервые предложены математические выражения для синхронизирующей мощности и коэффициента демпфирования асинхронных турбогенераторов; впервые получен эффективный критерий статической устойчивости сложной ЭЭС.

Под руководством К.Р. Аллаева изготовлены устройство измерения несимметрии в электрических системах «Малика-01» и его усовершенствованные модификации.

Академиком К.Р. Аллаевым подготовлено 7 докторов (DSc), 10 кандидатов технических наук (PhD), а также сотни магистров, инженеров и бакалавров.

Профессором К.Р. Аллаевым написано множество трудов, в том числе известные в мире монографии: «Современная энергетика и перспективы её развития», «Переходные процессы насосных станций», «Матричные методы анализа малых колебаний электрических систем» и др. Всего им опубликовано 242 научные работы. Из них монографий, учебников и учебных пособий – 27; патентов на изобретения и полезные модели – 20, в том числе 2 международных патента.

Кахраман Рахимович Аллаев также работал на должностях: заместителя и декана Энергетического факультета (1979 – 1992), проректора по научной деятельности (1992 – 1994), ректора ТашГТУ (2001 – 2005).

В период 1994 – 2001 гг. работал заместителем министра высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан, участвовал в разработке Национальной программы по подготовке кадров (1997) и реформировании системы высшего образования республики.

В настоящее время академик К.Р. Аллаев продолжает плодотворную деятельность: является профессором кафедры «Электрические станции, сети и системы» ТашГТУ, представляет Узбекистан в международных организациях, в том числе является независимым экспертом Комиссии ООН по проблеме энергоэффективности по странам Центральной Азии и региону Тихого океана (ESCAP), осуществляет руководство научной деятельностью молодых учёных.

Профессор К.Р. Аллаев является основателем и главным редактором журнала «Проблемы энерго- и ресурсосбережения», издаваемого в Узбекистане с 2003 г., включённого в реестр ВАК РУз; является председателем Специализированного научного совета по присуждению учёных степеней доктора наук (DSc) и доктора философии по техническим наукам (PhD) в сфере энергетики.

В 1999 г. К.Р. Аллаеву присуждено почётное звание «Заслуженный наставник молодёжи Республики Узбекистан». Кахрамон Рахимович в 2019 г. награждён орденом «Дустлик».

СОДЕРЖАНИЕ

Энергетика

Х.М. Муратов, Ж.Н. Толипов, Б.Н. Эркинов. Интеграция источников распределённой генерации и стратегии оптимального управления потоками мощности в электроэнергетических системах.....	3
О.З. Тоиров, О.А. Шодиев. Современное состояние экскаваторов и вопросы энергосбережения при выемке горных пород.....	10
А.А. Кадыров. К созданию автоматизированной системы управления техническим обслуживанием и ремонтами оборудования электростанций.....	19
О.Х. Ишназаров, А.А. Шавазов, Х.М. Эшкузиев, А.О. Хамдамов. Методология расчета норм расхода электроэнергии в электромеханических системах.....	27
Н.Н. Садуллаев, Ш.Н. Нематов, М.О. Гафуров. Анализ факторов, влияющих на эффективность использования электроэнергии в Узбекистане.....	36
Ф.А. Хошимов, К.Ш. Кадиров, Х.У. Юсупалиева. Режимы работы потребления электроэнергии технологическим оборудованием.....	43
Ш.В. Хамидов, Р.М. Танирбергенов, Б.Р. Нормуратов. Оптимизация потерь мощности в электрической сети с помощью устройств FACTS....	51
Р.Б. Жалилов, У.У. Камалов, А.Т. Караев. Эффективность применения частотно - регулируемого электропривода в системе автоматического управления насосной установкой АО «Бухараэнергомарказ».....	57
Д.Т. Юсупов. Повышение надежности масляных силовых трансформаторов за счет дополнительного охлаждения, глубокой очистки жидкой изоляции и внутреннего симметрирования.....	64
Э.Т. Жураев, А.П. Худайназаров, Ж.Х. Ишанов, З.Т. Жураева. Государственная политика и стратегии развития возобновляемых источников энергии и повышения энергоэффективности в Узбекистане..	72
М.М. Туляганов. Оптимальный пуск высокоинерционного асинхронного электропривода.....	82
Хроника	
Светлой памяти профессора Камалова Толягана Сираджиддиновича.....	89
К 80-летию академика Аллаева Кахрамана Рахимовича.....	92

МУНДАРИЖА

Энергетика

Х.М. Муратов, Ж.Н. Толипов, Б.Н. Эркинов. Электр энергетика тизимларида тақсимланган генерация манбаларининг интеграцияси ва қувват оқимини оптимал бошқариш стратегиялари.....	3
О.З. Тоиров, О.А. Шодиев. Тоғ-кон массасини қазиш жараёнида экскаваторларнинг замонавий ҳолати ва энергия тежамкорлик масалалари.....	10
А.А. Кадыров. Электр станциялари жиҳозларини техник хизмат кўрсатиш ва таъмирлаш бўйича автоматлаштирилган бошқарув тизимини яратиш ҳақида.....	19
О.Х.Ишназаров, А.А.Шавазов, Х.М.Эшқўзиёв, А.О.Хамдамов. Электромеханик тизимларда электр энергияси сарф меъёрларини ҳисоблаш методологияси	27
Н.Н.Садуллаев, Ш.Н.Нематов, М.О.Ғофуров. Ўзбекистонда электр энергиясидан фойдаланиш самарадорлигига таъсир этувчи омиллар таҳлили.....	36
Ф.А.Хошимов, К.Ш.Кадиров, Х.У.Юсупалиева. Технологик жиҳозлар электр энергия истеъмоли иш режимлари.....	43
Ш.В.Хамидов, Р.М.Танирбергенов, Б.Р.Нормуратов. FACTS қурилмалари ёрдамида электр тармоғидаги қувват йўқотишларини оптималлаштириш.....	51
Р.Б.Жалилов, У.У.Камалов, А.Т.Караев. Бухороэнергомарказ АЖ насосларни автоматик бошқарув тизимида частотали ростланадиган электр юритмани қўллашнинг самарадорлиги.....	57
Д.Т. Юсупов. Мойли куч трансформаторларининг ишончлилигини қўшимча совутиш, суяқ изоляциясини чуқур тозалаш ва ички симметриялаш орқали ошириш.....	64
Э.Т.Жураев, А.П.Худайназаров, Ж.Х.Ишанов, З.Т.Жураева. Ўзбекистонда қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантириш ва энергия самарадорлигини ошириш бўйича давлат сиёсати ва стратегиялари.....	72
М.М. Tulyaganov. Yuqori inersiyali asinxron elektr yuritmani optimal ishga tushirish.....	82
Хроника Профессор Камалов Толяган Сиражиддиновичнинг ёрқин хотирасига.....	89
Академик Аллаев Қахрамон Раҳимовичнинг 80 йиллиги муносабати билан.....	92

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

Узбекского журнала «Проблемы информатики и энергетики»

Статьи в журнале «Проблемы информатики и энергетики» публикуются бесплатно. Объем статьи, предлагаемой к публикации, не должен превышать 10 страниц текста (с рисунками и таблицами), напечатанного на белой бумаге (формат А4), на одной стороне листа через полтора интервала, 12-й кегель. Обязательна электронная версия – файл статьи с набором текста (шрифт Times New Roman в Microsoft Word). Возможна высылка файла рукописи по *e-mail*: *informatika-energetika@mail.ru*.

Требования к статьям:

1. Обязательно предоставлять на узбекском, русском и английском языках:
 - УДК (Индекс статьи по Универсальной десятичной классификации);
 - фамилии и инициалы авторов;
 - название статьи;
 - аннотацию к статье;
 - ключевые слова.

К статье необходимо приложить разрешение на публикацию от экспертного совета организации, в которой выполнена работа.

Ссылку на гранты необходимо давать ссылкой, обозначенной звездочкой (*), на первой странице.

2. Статья должна быть структурирована: Введение, Основная часть, Заключение, Список литературы.

Введение **должно** содержать обоснование актуальности, отличие и новизну предлагаемого подхода (метода, алгоритма и т.д.) к решению задачи. Основная часть должна иметь несколько подразделов и содержать формализованное описание постановки задачи, предлагаемый метод ее решения, алгоритм и процедуру решения задачи; отличие предлагаемой постановки задачи от уже известных; основное преимущество предлагаемого метода по сравнению с существующими. В **Заключении** следует сформулировать краткое обсуждение основных выводов по полученным результатам. Список литературы должен отражать перечень использованных источников.

3. Формулы, буквенные обозначения (прописные и строчные, латинского и греческого алфавитов), цифры, знаки и их расположение должны быть четкими и различимыми. Все латинские буквы набираются курсивом, узбекские, русские и греческие – прямым шрифтом.

4. После текста должен идти список литературы, используемой при написании статьи. Он составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом: для книг и сборников – фамилии и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее число страниц; для журнальных статей – фамилии и инициалы авторов, полное название статьи //название журнала, год, том, номера страниц. Если число авторов более четырех, то необходимо указывать первых трех со словами «и др.». Ссылки на иностранную литературу следует писать на языке оригинала без сокращений.

5. Все страницы в статье должны быть пронумерованы.

6. Размеры иллюстраций не должны превышать 150 мм по ширине, либо представляются в виде отдельных файлов (DOC, TIFF, PDF, JPEG с разрешением 600 dpi).

Рисунок должен быть четким и иметь подрисовочную подпись. Объяснение рисунков и фотографий в тексте и подписи к ним должны соответствовать содержанию рисунков. Данные таблиц и рисунков не должны

дублировать текст.

7. Подписи к рисункам должны пояснять их смысл, чтобы приводимые данные могли быть понятны без обращения к тексту. Аббревиатуры расшифровываются в подрисуночных подписях, если это не было сделано в тексте.

8. В конце статьи должны быть представлены:

- полное название учреждения, в котором выполнялось исследование;
- город;
- страна (для иностранных авторов).

9. Обязательно должны быть приложены сведения об авторах.

Указаны: Ф.И.О., ученая степень и звание (если есть), место работы, должность, адреса и телефоны (домашний и служебный), факс и e-mail. Названия институтов и учреждений необходимо раскрывать полностью.

10. Все статьи, поступающие в редакцию, проходят рецензирование.

В случае отклонения статьи редакционным советом журнала редакция оставляет за собой право сообщать автору о решении редсовета без рецензии.

Материалы, присланные в редакцию, обратно не высылаются.

Название организации и ведомства

Предоставляется официальное, без сокращений, название организации на узбекском, русском и английском языках.

Все значимые слова в названии организации (кроме артиклей и предлогов) должны начинаться с прописной буквы.

Необходимо корректно указывать название организации на узбекском, русском и английском языках. Редакция журнала не транслитерирует и не переводит название организации, поэтому оно публикуется в авторской редакции.

Заглавие статьи

Заглавие статьи предоставляется в редакцию на узбекском, русском и английском языках.

Все значимые слова в заглавии статьи (кроме артиклей и предлогов) должны начинаться с прописной буквы.

Заглавие научной статьи должно быть информативным, т. е. четко отражать ее содержание в нескольких словах.

Формулируя заглавие, нужно придерживаться простых конструкций.

Не следует использовать слова типа исследование, изучение, наблюдение, важный, значительный и т.п.

В заглавии рекомендуется использовать ключевые слова.

Нельзя использовать непере译имый сленг, известный только русскоговорящим специалистам. Это также касается аннотаций и ключевых слов.

Заглавие статьи не должно содержать математические и химические формулы, буквы алфавитов, отличных от русского и латинского, римские цифры.

В заглавиях статей можно использовать только общепринятые сокращения.

После написания статьи следует убедиться, что ее заглавие полностью соответствует содержанию.

В переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непере译имых названий собственных имен, приборов и других объектов, имеющих собственные названия.

Аннотации к статьям

Аннотация статьи предоставляется в редакцию на узбекском, русском и английском языках.

Аннотация выполняет следующие функции:

- дает возможность установить основное содержание статьи, определить его релевантность и решить, следует ли обращаться к полному тексту статьи;
- предоставляет информацию о статье и устраняет необходимость чтения полного текста статьи;
- используется в информационных, в том числе автоматизированных, системах для поиска статьи и информации.

Аннотация должна быть:

- информативной (не содержать общих слов);
- оригинальной;
- содержательной (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
- структурированной (следовать логике описания результатов в статье);
- компактной (объем от 50 до 100 слов).

Важно! Аннотации на английском языке в издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и изложенных в ней результатах исследований.

Зарубежные специалисты по аннотации оценивают публикацию, определяют свой интерес к работе автора, могут использовать ее в своей публикации и сделать на нее ссылку, открыть дискуссию с автором, запросить полный текст и т.д. Аннотация на английском языке на русскоязычную статью или статью на узбекском языке по объему может быть больше аннотации на русском, узбекском языках, так как за русско - или узбекоязычной аннотацией идет полный текст на этом же языке.

Общие рекомендации

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). исторических справок, описания ранее опубликованных работ и общеизвестных положений.

Одним из вариантов построения аннотации является краткое повторение в ней структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение.

В аннотации следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, а также избегать сложных грамматических конструкций.

При переводе аннотаций должна использоваться англоязычная специальная терминология.

В тексте аннотации следует использовать значимые слова из текста статьи. Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных, применяют в исключительных случаях или дают их определения при первом употреблении.

Единицы физических величин следует приводить в Международной системе СИ. Допускается приводить в круглых скобках рядом с величиной в системе СИ значение величины в другой системе единиц, использованной в исходном документе.

В аннотации не следует давать ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Ключевые слова

Ключевые слова к статье предоставляются в редакцию на узбекском, русском и английском языках.

Должно быть не более 15 ключевых слов.

Можно использовать только общепринятые сокращения.

Ключевые слова должны четко указывать на основное содержание статьи. Следует избегать приводить в качестве ключевых слов общие понятия типа «система», так как поиск по ключевому слову не приведет читателя к нахождению интересующей его информации. Ключевым словом в некоторых случаях может служить словосочетание, но ни в коем случае не краткое предложение.

Представляем научно-технический журнал «Проблемы информатики и энергетики»

ISSN 2010-7242. Выходит с 1992 года, 6 номеров в год. Объем 96 страниц.

Журнал распространяется по подписке.

Подписной индекс:

879 – по каталогу «Матбуот тарқатувчи», «Шаҳар почтаси».

Журнал публикует статьи о информатике и управлении, энергетике, информационных и телекоммуникационных технологиях – опыт разработки, внедрения и использования.

Журнал входит в список периодических научных и научно-технических изданий, выпускаемых в РУз, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ на соискание ученой степени доктора философии (PhD) и доктора наук (DSc).

В журнале:

* Тенденции развития информационных и телекоммуникационных технологий в технике, экономике и управлении;

* Информационные технологии в экономике и профессиональном образовании;

* Автоматизация проектирования, конструирования и технологической подготовки производства;

* Программное обеспечение;

* Информационно-управляющие комплексы подвижных объектов;

* Сетевые технологии. Интернет-технологии. Информационная безопасность;

* Аппаратное обеспечение информационных технологий;

* Энергетика, вопросы энерго- и ресурсосбережения, электроснабжение и сервис промышленных предприятий;

* Информационная поддержка жизненного цикла технических систем;

* Компьютерное зрение. Виртуальная реальность. Компьютерная графика;

* Геоинформатика. Технологии дистанционного зондирования и мониторинга;

* Технологии автоматической идентификации. Биометрия;

* Распределенные информационно-управляющие системы. Автоматизация документооборота, формирование электронных архивов и библиотек;

* Нормативная база, стандартизация и сертификация информационных продуктов и систем;

* Выставки, семинары и конференции.

Учредитель журнала – Академия наук РУз, Государственный комитет связи, информатизации и телекоммуникационных технологий Узбекистана.

Издатель – Издательство «Fan va texnologiya».

Адрес редакции журнала: 100066, г. Ташкент, ул. Алмазар, 171.

Телефоны: 71-231-92-51, 71-231-92-46, 71-245-61-61.

E-mail: informatika-energetika@mail.ru

С уважением, редакция журнала.

Индекс 879

ISSN 2010-7242 ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАТИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ. №2 2025