ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 5

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 5

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Асадова Раъно Дилмуратовна
Тошкент Давлат техника университети доценти

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ

Илекерова Индира Балтабаевна

(PhD) студент, Ташкентский государственный технический университет, Ташкент 100095, Узбекистан.

E-mail: iilekerova@gmail.com

Аннотация. В статье представлен аналитический обзор современных научных исследований, посвящённых повышению энергоэффективности электромеханических систем (компрессоров, вентиляторов и насосных агрегатов), функционирующих в условиях переменных технологических нагрузок. Рассматриваются классические и современные методы регулирования, применение частотно-регулируемых приводов, интеллектуальные алгоритмы управления, а также цифровые технологии в рамках концепции Индустрия 4.0. Проведён анализ преимуществ адаптивных стратегий управления и определены перспективные направления дальнейших исследований. Предоставлены методы для повешения энергоэффективности электромеханических систем авторов разных стран, также результаты исследовании в многопрофильной больнице Сеула (Южная Корея) измеренные в реальных условиях эксплуатации, выбрав системы частотно-регулируемого привода (ЧРП) и вакуумного регулирования (ВП) [12].

Ключевые слова: энергоэффективность, электропривод, электромеханические системы, энергосбережение режимы работы электромеханических систем.

Annotation. The article presents an analytical review of modern scientific research devoted to improving the energy efficiency of electromechanical systems (compressors, fans and pumping units) operating under variable technological loads. Classical and modern control methods, the use of variable frequency drives, intelligent control algorithms, as well as digital technologies within the framework of the Industry 4.0 concept are considered. The advantages of adaptive management strategies are analyzed and promising areas of further research are identified. Methods for measuring the energy efficiency of electromechanical systems from different countries are provided, as well as the results of a study at a multidisciplinary hospital in Seoul (South Korea), measured under real operating conditions by selecting variable frequency drive (VFD) and vacuum control (VP) systems [12].

ISSN 3030-3907

Keywords: energy efficiency, electric drive, electromechanical systems, energy saving, operating modes of electromechanical systems.

Annotatsiya. Maqolada o‘zgaruvchan texnologik yuklamalar sharoitida ishlaydigan elektromexanik tizimlarning (kompressorlar, ventilyatorlar va nasos agregatlari) energiya samaradorligini oshirishga bag‘ishlangan zamonaviy ilmiy tadqiqotlarning tahliliy sharhi keltirilgan. Rostlashning klassik va zamonaviy usullari, chastotaviy rostlanadigan yuritmalarni qo‘llash, intellektual boshqarish algoritmlari, shuningdek, Sanoat 4.0 konsepsiyasi doirasidagi raqamli texnologiyalar ko‘rib chiqiladi. Adaptiv boshqaruv strategiyalarining afzalliklari tahlil qilingan va keyingi tadqiqotlarning istiqbolli yo‘nalishlari aniqlangan. Turli mamlakatlar mualliflarining elektromexanik tizimlarining energiya samaradorligini oshirish usullari, shuningdek, Seuldagi (Janubiy Koreya) ko‘p tarmoqli shifoxonada chastota bilan boshqariladigan yuritma (CHBY) va vakuumli boshqarish (VB) tizimlarini tanlab, haqiqiy ish sharoitlarida o‘lchangan tadqiqot natijalari keltirilgan [12].

Kalit so‘zlar: energiya samaradorligi, elektr yuritma, elektromexanik tizimlar, energiya tejamkorligi, elektromexanik tizimlarning ish rejimlari

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время реализуется широкий комплекс стратегических, политических, технических и организационных мероприятий, направленных на расширение применения низкоуглеродных источников энергии. Тем не менее, несмотря на предпринимаемые на глобальном уровне усилия, значительная часть промышленных предприятий продолжает функционировать на основе использования органического топлива. Такая модель производства неизбежно сопровождается отрицательным воздействием на окружающую среду и способствует усилению процессов изменения климата и деградации природных экосистем. В связи с этим одним из ключевых направлений решения данной проблемы является поиск эффективных способов снижения энергопотребления [11].

Электромеханические системы, такие как компрессоры, вентиляторы и насосы, составляют основу энергетической инфраструктуры промышленных предприятий. На их долю приходится до 60–70 % общего потребления электроэнергии [1, 6]. Особенно значительным является энергопотребление систем сжатого воздуха и вентиляционных установок, где традиционные методы управления часто оказываются недостаточно эффективными [2, 3]. В современных промышленных условиях быстро изменяющиеся технологические процессы, параметрическая неопределённость и значительная изменчивость нагрузок требуют внедрения адаптивных и

ISSN 3030-3907

интеллектуальных систем управления. В соответствии с концепцией Индустрии 4.0, цифровизация производства и интеграция киберфизических систем, промышленного Интернета вещей (IIoT), технологий анализа больших данных и искусственного интеллекта создают возможности для повышения энергоэффективности электромеханических систем и обеспечения их интеллектуального и гибкого функционирования [4, 7].

Классические современные методы регулирования. Повышение эффективности использования электроэнергии может обеспечиваться не только за счёт совершенствования конструкции электроприводов. Даже технически высокоразвитые приводы могут работать неэффективно при изменении условий их эксплуатации. В процессе функционирования асинхронных приводов нередко наблюдаются существенные изменения режимов работы, что обусловлено технологическими требованиями, воздействием климатических факторов, а также различными условиями окружающей среды. Энергоэффективное регулирование производительности и режимов работы оборудования является важным направлением целенаправленных исследований. Основное внимание в таких исследованиях уделяется изменению угловой скорости двигателя, однако значительное число работ также посвящено вопросам рационального распределения нагрузки, управлению крутящим моментом, а также совершенствованию пусковых режимов и других методов повышения эффективности работы приводов [11].

В 2018 году группа исследователей предложила метод энергоэффективного управления режимами работы электроприводов асинхронных двигателей с регулируемой скоростью, применяемых в насосах, компрессорах и вентиляторах. Результаты исследования показали, что использование насосов с регулируемым расходом позволяет снизить потребление электроэнергии судовым оборудованием до 60 % при уменьшении скорости движения судна[12]. Традиционные методы регулирования производительности компрессоров и вентиляторов включают схемы «нагрузка–разгрузка», дросселирование и использование ресиверов. Основные недостатки этих методов:

значительные переходные потери энергии [5];

повышение износа оборудования;

нестабильность при переменных нагрузках;

увеличение удельного энергопотребления на 5–15 % [1, 3].

Эти ограничения стимулируют разработку методов плавного и адаптивного регулирования, особенно для условий переменных нагрузок.

ISSN 3030-3907

Частотно-регулируемые приводы (VFD) и энергосбережение. Одним из самых эффективных способов повышения энергоэффективности является применение частотно-регулируемых приводов (VFD). Согласно законам подобия для механических систем, мощность потребления пропорциональна кубу скорости вращения:

$$P \sim n^3,$$

где (P) — потребляемая мощность, (n) — скорость вращения [2, 3, 5].

Снижение скорости вращения на 20 % может снизить энергопотребление почти на 50 %, что подтверждается экспериментальными исследованиями винтовых и поршневых компрессоров [2, 3, 4].

Регулирование производительности — это метод, который помогает компрессору регулировать производительность машины в соответствии с рабочей нагрузкой по требованию. В открытой литературе наиболее распространенными методами регулирования производительности в объемных компрессорах являются бесступенчатое регулирование и регулирование скорости вращения. Принцип бесступенчатого управления заключается в задержке времени закрытия всасывающего клапана путем подачи внешней силы (обычно гидравлической силы), что позволяет избыточной жидкости выходить из рабочей камеры. Другой часто используемый метод регулирования производительности — регулирование скорости, при котором рабочая скорость регулируется приводом с регулируемой скоростью в ответ на изменение рабочей нагрузки [2].

Для вентиляторных систем применение VFD также показывает значительное сокращение энергии без потери технологической производительности. Системы ОВК на основе переменного объема воздуха (VAV) обычно применяются в больницах, где они реагируют на нагрузки отопления и охлаждения отдельно, с различными графиками работы для каждой зоны. Система VAV может адекватно реагировать на внутренние и наружные нагрузки кондиционирования воздуха, поддерживая комфортные условия внутри помещений. Многопрофильной больнице Сеула (Южная Корея) при сравнении результатов исследования, измеренные в реальных условиях эксплуатации, выбрав системы частотно-регулируемого привода (ЧРП) и вакуумного регулирования (ВП): наиболее эффективные методы управления воздушным потоком для вентиляторов в системах переменного расхода воздуха (VAV). По сравнению с другими системами ОВК, такими как системы постоянного объема воздуха (CAV) и фанкойлы, система VAV обеспечивает гибкое реагирование на частичные нагрузки, уменьшает размер

ISSN 3030-3907

основного воздуховода и мощность вентилятора, а также экономит годовое потребление энергии как минимум на 11,5% [5, 9].

Таблица 1

Сравнительный анализ методов регулирования

Метод	Экономия энергии	Сложность внедрения	Гибкость
Нагрузка–разгрузка	0–8 % [1, 5]	низкая	низкая
Дросселирование	5–10 % [5]	низкая	средняя
VFD	20–35 % [2, 3, 5]	средняя	высокая
MPC и ИИ	30–45 % [7, 10]	высокая	очень высокая

Математическое моделирование и оптимизация. Современные исследования сосредоточены на разработке математических моделей электромеханических систем, учитывающих нелинейность характеристик оборудования и ограничения по давлению, расходу и мощности. Алгоритмы оптимального управления, предиктивные модели и методы машинного обучения используются для минимизации энергопотребления в условиях переменных нагрузок. На этапе разработки системы математическое моделирование представляет собой практичный и ресурсосберегающий метод, позволяющий адекватно описывать термодинамические процессы, протекающие в рабочем цикле машины, и осуществлять прогноз её энергетических и эксплуатационных характеристик [2, 4, 7].

Цифровые двойники и аналитические модели позволяют прогнозировать нагрузку, адаптивно корректировать рабочие параметры и снижать износ оборудования, что важно для интеграции энергоменеджмента. Применение насосных установок способствует повышению энергоэффективности отдельных элементов электропривода. В проведённом анализе авторы отмечают несколько основных направлений повышения энергоэффективности приводов насосных агрегатов с асинхронными двигателями. К ним относятся: корректный выбор номинальной мощности асинхронного двигателя и насоса в соответствии с рабочими условиями, а также регулирование скорости вращения насоса посредством использования частотно-регулируемого электропривода. [13]. На ряде горнодобывающих предприятий с целью повышения энергоэффективности вентиляционных систем были внедрены электроприводы с регулируемой скоростью вращения, работающие от сети среднего напряжения. Применение таких приводов позволяет адаптировать режим работы вентиляционного

ISSN 3030-3907

оборудования к фактическим условиям эксплуатации и тем самым снизить энергопотребление. [14]. Цифровые двойники и аналитические модели позволяют прогнозировать нагрузку, адаптивно корректировать рабочие параметры и снижать износ оборудования, что важно для интеграции энергоменеджмента.

Наиболее эффективные решения. Регулирование скорости вращения двигателя (частотно-регулируемый привод)

Изменение скорости электродвигателя в зависимости от нагрузки позволяет адаптировать работу оборудования (насосов, вентиляторов, компрессоров) к текущим технологическим требованиям и значительно снизить энергопотребление[2,3,5,12,13].

Рациональное распределение нагрузки между приводами Балансировка нагрузки между несколькими агрегатами позволяет снизить потери энергии. Например, использование энергии перегрузки одного пресса для питания другого может уменьшить энергопотребление до 36 %.[14].

Регулирование крутящего момента двигателя Управление моментом с помощью преобразователей напряжения или специальных алгоритмов позволяет обеспечить энергоэффективный режим работы асинхронных двигателей при нагрузках ниже номинальных[13, 15].

Энергоэффективное управление током *двигателя* Регулирование тока позволяет снизить потери в электрической машине и обеспечить оптимальные условия работы привода при изменяющихся нагрузках[12].

Бессенсорное управление скоростью двигателя. Использование алгоритмов управления без датчиков скорости обеспечивает симметричный и сбалансированный режим работы двигателя во всём диапазоне скоростей, что повышает его энергоэффективность[16]

Оптимизация магнитного потока асинхронного двигателя. Регулирование магнитного потока на основе минимизации потерь или управления потреблением энергии позволяет значительно уменьшить потери при работе двигателя на малых нагрузках[21].

Компенсация реактивной мощности и повышение коэффициента мощности. Применение систем компенсации реактивной мощности уменьшает потери энергии, снижает потребление реактивной мощности и повышает коэффициент мощности электропривода. Применение указанных методов способствует существенному снижению энергопотребления электромеханических систем при функционировании в условиях переменных режимов работы [22].

ISSN 3030-3907

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Обзор литературы показывает, что повышение энергоэффективности электромеханических систем в условиях переменных технологических режимов является актуальной научной задачей. Благодаря большому количеству научных публикаций направление исследований, посвящённое совершенствованию режимов работы электроприводов посредством регулирования магнитного потока и скорости вращения, получило значительное развитие и сформировалось как самостоятельная область научных исследований. [2,3,5,12,13,21]. К наиболее энергоэффективным режимам работы электроприводов относятся режимы, основанные на регулировании скорости вращения, рациональном распределении нагрузки, управлении крутящим моментом и током двигателя, оптимизации магнитного потока, а также компенсации реактивной мощности. Применение указанных методов способствует существенному снижению энергопотребления электромеханических систем при функционировании в условиях переменных режимов работы. [12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Итмо, О.Р.И.-решений Н. *et al.* (no date) *Аналитический обзор способов регулирования производительности винтовых компрессоров Научный журнал Вестник Международной академии холода*. https://vestnikmax.ifmo.ru/ru/article/20364/analiticheskiy_obzor_sposobov_regulirovaniya_proizvoditelnosti_vintovyh_kompressorov.htm

2. .Lu, K., Sultan, I.A. and Phung, T.H. (2023) 'A Literature review of the positive Displacement Compressor: Current Challenges and Future Opportunities,' *Energies*, 16(20), p. 7035. https://doi.org/10.3390/en16207035

3. Ekren, O. *et al.* (2012) 'Performance evaluation of a variable speed DC compressor,' *International Journal of Refrigeration*, 36(3), pp. 745–757. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2012.09.018.

4. Da Silva, W.T.F.D., Braga, V.M. and Deschamps, C.J. (2025) 'Performance analysis of a reciprocating refrigeration compressor under variable operating speeds,' *Machines*, 13(7), p. 609. https://doi.org/10.3390/machines13070609

5. Abakumov, A.M. *et al.* (2019) 'The energy efficiency of cooling the natural gas With variable frequency drive fans,' *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series* [Preprint]. https://doi.org/10.14498/tech.2019.

6. *Проверка безопасности .Патраков А.И., Келушев А.И., Хамидуллин Р.Р. Энергосбережение в системах электропривода | Вестник науки* (no date b). https://www.xn----8sbempclcwd3bmt.xn--p1ai/article/23841?utm_source=chatgpt.com

ISSN 3030-3907

7. Сергеевич, П.В. (2016) *Структура и энергосберегающие алгоритмы управления частотно-регулируемым электроприводом вентиляторов главного проветривания шахт*. https://www.dissercat.com/content/struktura-i-energosberegayushchie-algoritmy-upravleniya-chastotno-reguliruemym-elektroprivod
8. Жумагалиева, Ж.С. and Муралев, У.Д. (no date) *ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНО РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА – КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ*. journal-article. https://library.yu.edu.kz/wp-content/uploads/2024/08/zhumagalieva-zh.s.-muralev-u.d.-primenenie-chastotno-reguliruemogo-privoda.pdf
9. Song, I.-H., Lhee, J.-H. and Jeong, J.-W. (2021) 'Energy efficiency and economic analysis of variable frequency drive and variable pitch system: A case study of axial fan in hospital,' *Journal of Building Engineering*, 43, p. 103213. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103213.
10. Колесников, С.М. (2005) *Разработка и исследование энергосберегающего частотно-регулируемого электропривода турбомеханизмов*. https://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-issledovanie-energosberegayushchego-chastotno-reguliruemogo-elektroprivoda-turb.
11. Dinolova, P., Ruseva, V. and Dinolov, O. (2023a) 'Energy Efficiency of induction Motor Drives: State of the Art, analysis and recommendations,' *Energies*, 16(20), p. 7136. https://doi.org/10.3390/en16207136.
12. Dere, C. and Deniz, C. (2019a) 'Load optimization of central cooling system pumps of a container ship for the slow steaming conditions to enhance the energy efficiency,' *Journal of Cleaner Production*, 222, pp. 206–217. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.030.
13. *Google Scholar* (no date b). https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Determination+of+the+parameters+of+an+induction+motor+in+transient+modes+to+improve+the+quality+of+its+operation&conference=Proceedings+of+the+2020+Global+Smart+Industry+Conference&author=Goun,+V.S.&author=Bakin,+A.A.&author=Anikin,+A.S.&author=Sidorenko,+N.Y.&publication_year=2020&pages=223%E2%80%93228.
14. Li, L. *et al.* (2017) 'An Energy-Saving method by balancing the load of operations for hydraulic press,' *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 22(6), pp. 2673–2683. https://doi.org/10.1109/tmech.2017.2759228.
15. Nel, A.J.H. *et al.* (2019) 'Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines,' *Journal of Cleaner Production*, 232, pp. 379–390. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.376.

ISSN 3030-3907

16. Almani, M.N., Hussain, G.A. and Zaher, A.A. (2021) 'An improved technique for Energy-Efficient starting and operating control of single phase induction motors,' *IEEE Access*, 9, pp. 12446–12462. https://doi.org/10.1109/access.2021.3050920
17. Dere, C. and Deniz, C. (2019a) 'Load optimization of central cooling system pumps of a container ship for the slow steaming conditions to enhance the energy efficiency,' *Journal of Cleaner Production*, 222, pp. 206–217. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.030.
18. Xiao, H. *et al.* (2021) 'The efficiency improvement of induction motor with constant speed for belt drive mechanism,' *Energy Efficiency*, 14(8). https://doi.org/10.1007/s12053-021-10009-6.
19. Choudhary, P.K. and Dubey, S.P. (2018) 'Energy efficient operation of induction motor drives: Economic and environmental analysis in cement manufacturing,' *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(2), pp. 672–679. https://doi.org/10.1002/ep.12966.
20. Frigerio, N. and Matta, A. (2021) 'Modelling the startup of machine tools for energy efficient multi-sleep control policies,' *Journal of Manufacturing Systems*, 60, pp. 337–349. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.05.013.
21. *Google Scholar* (no date). https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Study+of+Reactive+Power+Compensation+Efficiency+for+Asynchronous+Motors+of+Metal-Cutting+Machine+Electric+Drives&author=Shvartsburg,+L.&author=Gvozdkova,+S.&publication_year=2021.

ISSN 3030-3907