ISNN 3030-3907

2026/3
VOLUME 3

DEVELOPMENT OF SCIENCE

ILMIY JURNAL



Development of science

Ilmiy jurnal

2026/3 VOLUME 3

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

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ С АСИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ И ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Хакбердиев Тимурбек Зафар угли

Навоийский государственный горно-технологический университет, ассистент Навоий, Узбекистан.

E-mail: timurbekhaqberdiyev@gmail.com

Аннотация. В работе анализируются современные решения электроприводов погружных насосных агрегатов, используемых в различных промышленных установках. Рассматриваются особенности запуска асинхронных электродвигателей, исследуются их механические характеристики и влияние режимов пуска на эксплуатационные параметры оборудования. Отдельное внимание уделено применению устройств плавного пуска и частотно-регулируемых электроприводов. Приведены основные критерии выбора электропривода для насосных установок и показаны преимущества использования преобразователей частоты. Установлено, что внедрение частотно-регулируемых приводов способствует снижению потребления электроэнергии, уменьшению динамических нагрузок на механические элементы оборудования и повышению устойчивости технологических процессов.

Ключевые слова: асинхронный электродвигатель, насосный электропривод, преобразователь частоты, плавный пуск, механические характеристики, энергоэффективность.

Annotatsiya. Ushbu maqolada turli sanoat qurilmalarida qo‘llaniladigan cho‘ktirma nasos agregatlarining elektr yuritmalariga oid zamonaviy yechimlar tahlil qilinadi. Asinxron elektr dvigatellarini ishga tushirish xususiyatlari ko‘rib chiqiladi, ularning mexanik xarakteristikalari o‘rganiladi hamda ishga tushirish rejimlarining uskunalarning ekspluatatsion parametrlariga ta’siri tadqiq etiladi. Alohida e’tibor silliq ishga tushirish qurilmalari va chastota orqali boshqariladigan elektr yuritmalardan foydalanishga qaratilgan. Nasos qurilmalari uchun elektr yuritmalarni tanlashning asosiy mezonlari keltirilgan hamda chastota o‘zgartirgichlardan foydalanishning afzalliklari ko‘rsatib berilgan. Aniqlanishicha, chastota orqali boshqariladigan yuritmalarni joriy etish elektr energiyasi sarfini kamaytirishga, uskunaning mexanik elementlariga tushadigan dinamik yuklamalarni kamaytirishga hamda texnologik jarayonlarning barqarorligini oshirishga yordam beradi.

Kalit so‘zlar: asinxron elektr motori, cho‘ktirma nasos, chastota o‘zgartirgich, silliq ishga tushirish, mexanik xarakteristikalari, energiya samaradorligi.

ISSN 3030-3907

Abstract. The paper analyzes modern solutions for electric drives of submersible pumping units used in various industrial installations. The features of starting asynchronous electric motors are considered, their mechanical characteristics are investigated, and the influence of starting modes on the operational parameters of equipment is studied. Particular attention is paid to the application of soft starters and variable frequency drives. The main criteria for selecting electric drives for pumping installations are presented, and the advantages of using frequency converters are demonstrated. It is established that the implementation of variable frequency drives contributes to reducing electricity consumption, decreasing dynamic loads on mechanical components of equipment, and improving the stability of technological processes.

Keywords: asynchronous electric motor, pump electric drive, frequency converter, soft start, mechanical characteristics, energy efficiency.

ВВЕДЕНИЕ.

Насосные установки являются важным элементом многих промышленных технологических систем. Они широко применяются в системах водоснабжения и водоотведения, энергетических установках, нефтехимическом производстве, а также в горнодобывающей отрасли. В качестве привода насосных агрегатов чаще всего используются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором, отличающиеся простотой конструкции, надежностью и относительно низкой стоимостью.

Одной из характерных особенностей асинхронных двигателей является возникновение значительных пусковых токов при прямом включении в сеть. В момент запуска величина тока может в несколько раз превышать номинальное значение. Данное явление вызывает ряд негативных последствий, к которым относятся перегрев обмоток статора, ускоренное старение изоляционных материалов, увеличение механических нагрузок на вал и элементы насосного агрегата, а также снижение ресурса работы оборудования.

Современное развитие силовой электроники и микропроцессорных систем управления позволило внедрить более эффективные методы регулирования электроприводов. К таким решениям относятся устройства плавного пуска и частотно-регулируемые электроприводы, обеспечивающие снижение пусковых токов, более мягкий запуск двигателя и повышение энергоэффективности насосных установок.

Современные устройства плавного пуска обеспечивают эффективное снижение пусковых токов и динамических нагрузок, возникающих при запуске асинхронных электродвигателей. Их применение позволяет

ISSN 3030-3907

значительно уменьшить воздействие на электрические и механические элементы насосных агрегатов.

Одним из примеров подобных устройств является серия JKSSS, построенная на базе тиристорных силовых модулей. Использование тиристорного регулирования напряжения обеспечивает плавное нарастание напряжения на обмотках статора двигателя в процессе запуска.

На рисунке 1 представлен внешний вид устройства плавного пуска данной серии.



Рис. 1. Внешний вид УПП серии JKSSS

Устройства плавного пуска выполняют ряд важных функций, среди которых:

- обеспечение плавного запуска асинхронного электродвигателя;
- ограничение величины пускового тока;
- защита двигателя от перегрузочных режимов;
- контроль фазных токов и параметров сети;
- защита оборудования от коротких замыканий.

Схема подключения устройства плавного пуска к электродвигателю насосного агрегата приведена на рисунке 2.

ISSN 3030-3907

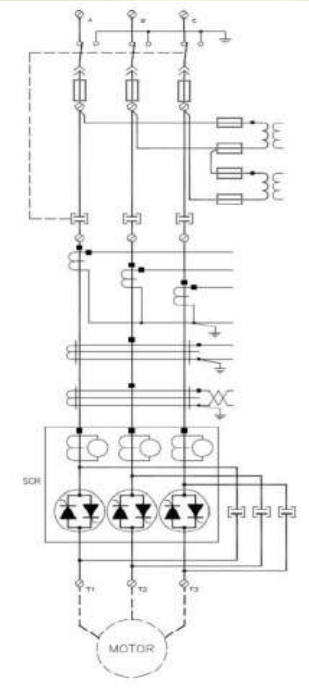


Рис. 2. Электрическая схема подключения УПП

Использование устройств плавного пуска позволяет снизить электродинамические нагрузки в механической системе привода, увеличить ресурс работы электродвигателя и повысить общую надежность функционирования насосной установки.

Для исследования режимов работы насосной установки был выбран асинхронный электродвигатель типа 4А250S4У3. Двигатели данной серии широко используются в составе промышленных насосных агрегатов, что обусловлено их высокой эксплуатационной надежностью и устойчивостью к перегрузочным режимам. Конструктивная простота и неприхотливость в обслуживании делают такие электродвигатели удобными для применения в длительных технологических процессах.

Кроме того, асинхронные машины указанного типа характеризуются благоприятными энергетическими показателями, стабильностью работы и значительным эксплуатационным ресурсом, что обеспечивает их широкое применение в системах промышленного электропривода насосных установок.

Основные технические параметры двигателя следующие:

- номинальная мощность: $P_n = 75$ кВт
- номинальное напряжение питания: $U = 380/220$ В
- номинальное скольжение: $S_n = 0{,}05$

Для определения механической характеристики асинхронного двигателя используется формула Клосса, позволяющая установить

ISSN 3030-3907

зависимость электромагнитного момента двигателя от величины скольжения:

$$M = \frac{2 \cdot M_{max} \cdot S}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}$$

где:

M — электромагнитный момент двигателя;

S — текущее значение скольжения;

$S_{кр}$ — критическое скольжение;

M_{max} — максимальный момент двигателя.

На основе данной зависимости были определены значения электромагнитного момента двигателя при различных значениях скольжения.

Так, например:

- при $S = 1{,}0$ момент двигателя составляет $M = 602\ Н \cdot м$;
- при $S = 0{,}1$ $M = 1104\ Н \cdot м$;
- при $S = 0{,}05$= $M = 502\ Н \cdot м$.

1 – Таблица

Скольжение, S	Скорость, ω $с^{-1}$	Момент двигателя, М, Н.м
1,0	0	722,4
0,1	141,3	1324,4
0,05	149,5	602,0
0,02	154	511,7
0,01	155,4	511,7
0	157	0

Полученные результаты расчётов сведены в таблицу 1, а соответствующая механическая характеристика асинхронного двигателя представлена на рисунке 3.

ISSN 3030-3907



Рис.3. Естественная механическая характеристика асинхронного двигателя типа 4А250MSУ3 и момент сопротивления насоса

Для насосных механизмов характерна зависимость момента сопротивления от скорости вращения рабочего колеса. Для большинства центробежных насосов нагрузочный момент изменяется по квадратичному закону в зависимости от угловой скорости вращения.

Момент сопротивления насосной установки может быть определён следующим выражением:

$$M_c = k\omega^2$$

где:

M_c — момент сопротивления насоса;

ω — угловая скорость вращения рабочего колеса;

ISSN 3030-3907

k — коэффициент, учитывающий конструктивные и гидравлические параметры насосной установки.

Подобная зависимость обусловлена гидродинамическими процессами, происходящими в рабочем колесе насоса. С увеличением скорости вращения возрастает скорость перемещения жидкости в проточной части насоса, что приводит к росту гидравлического сопротивления потоку и, соответственно, к увеличению нагрузочного момента на валу электродвигателя.

Для ряда значений угловой скорости были рассчитаны соответствующие значения момента сопротивления насосной установки. Полученные данные позволяют построить нагрузочную характеристику насоса и выполнить её сопоставление с механической характеристикой асинхронного двигателя.

На рисунке 3 представлены:

- механическая характеристика асинхронного электродвигателя;
- характеристика момента сопротивления насосной установки.

Точка пересечения указанных характеристик соответствует установившемуся режиму работы электропривода. В этой точке электромагнитный момент двигателя становится равным моменту сопротивления насоса, что обеспечивает устойчивое функционирование системы.

Проведённый анализ характеристик позволяет определить режим загрузки электродвигателя, оценить условия его эксплуатации и подтвердить соответствие выбранного двигателя требованиям технологического процесса.

Одним из наиболее эффективных направлений повышения энергоэффективности насосных установок является применение частотно-регулируемого электропривода. Данный способ управления основан на изменении скорости вращения асинхронного двигателя путем регулирования частоты питающего напряжения. Благодаря этому обеспечивается плавное изменение производительности насосного агрегата в широких пределах.

Функциональная схема частотно-регулируемого электропривода представлена на рисунке 4. В состав системы входят устройства, обеспечивающие преобразование электрической энергии и управление параметрами питания электродвигателя.

К основным элементам системы относятся:

- управляемый выпрямитель (УВ);
- автономный инвертор напряжения (АИН);
- система импульсно-фазового управления (СИФУ);

ISSN 3030-3907

- система управления автономным инвертором (СУАИ);
- асинхронный электродвигатель (АД);
- рабочий механизм — насос;
- датчики скорости, напряжения и момента.

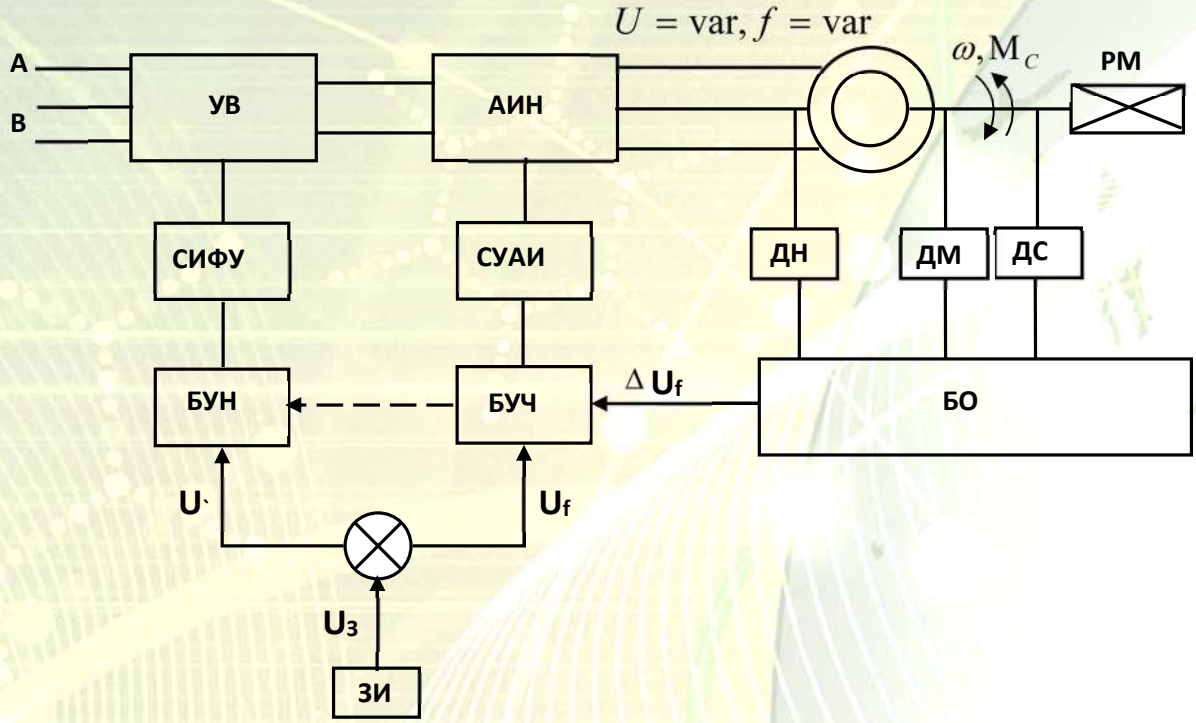


Рис. 4. Функциональная схема автоматизированного частотно – регулируемого асинхронного электропривода насоса

Принцип работы системы заключается в последовательном преобразовании электрической энергии. Переменное напряжение питающей сети поступает на управляемый выпрямитель, где происходит его преобразование в постоянное напряжение. Далее автономный инвертор формирует переменное напряжение регулируемой частоты, которое подается на обмотки асинхронного двигателя.

В процессе пуска частота питающего напряжения плавно увеличивается от нулевого значения до номинального уровня. Такой режим обеспечивает мягкий разгон двигателя и способствует существенному уменьшению пусковых токов. Одновременно система управления изменяет величину напряжения двигателя в зависимости от текущего значения частоты.

В большинстве частотно-регулируемых электроприводов применяется экономичный закон регулирования, при котором выполняется условие:

$$\frac{U}{f} = \text{const}$$

Где

ISSN 3030-3907

U — напряжение на статоре двигателя;
f — частота питающего напряжения.

Сохранение постоянного отношения $\frac{U}{f}$ позволяет поддерживать магнитный поток асинхронного двигателя практически неизменным при изменении частоты питания. Это обеспечивает стабильность механических характеристик двигателя во всём диапазоне регулирования скорости.

Зависимость напряжения от частоты при данном способе регулирования представлена на рисунке 5. Анализ данной зависимости показывает, что напряжение изменяется пропорционально частоте, что способствует обеспечению оптимального режима работы асинхронного электродвигателя.

Применение частотно-регулируемого электропривода обеспечивает гибкое управление насосными агрегатами, повышает точность регулирования производительности и способствует снижению энергопотребления насосной установки.

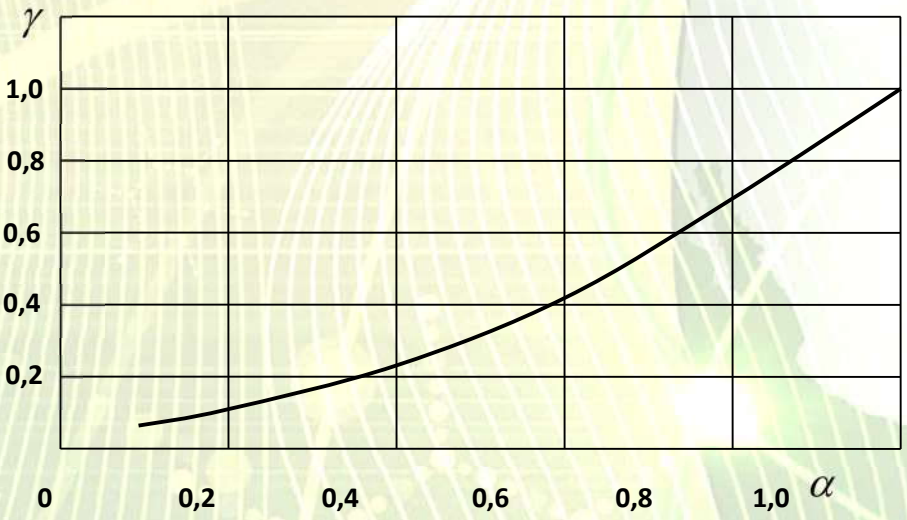


Рис. 5. График изменения напряжения в функции частоты при экономичном законе частотного управления асинхронного двигателя типа 4А250S4У3

При использовании частотно-регулируемого электропривода изменяется форма механических характеристик асинхронного двигателя. Регулирование частоты питающего напряжения приводит к изменению синхронной скорости вращения магнитного поля статора, что позволяет изменять скорость вращения ротора двигателя в широком диапазоне.

Одним из важных условий частотного управления является поддержание оптимального соотношения между напряжением и частотой питания электродвигателя. Соблюдение данного условия обеспечивает

ISSN 3030-3907

сохранение магнитного потока на требуемом уровне и позволяет поддерживать стабильные механические характеристики двигателя.

Для исследования режимов работы электропривода были выполнены расчёты механических характеристик асинхронного двигателя при различных значениях частоты питания. Расчёты проводились на основе формулы Клосса, адаптированной для условий частотно-регулируемого режима работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования были рассмотрены особенности работы электроприводов погружных насосных установок на основе асинхронных двигателей. Выполнен анализ механических характеристик двигателя и нагрузочной характеристики насосного агрегата.

Показано, что применение устройств плавного пуска позволяет существенно снизить пусковые токи и уменьшить динамические нагрузки на элементы оборудования. Использование частотно-регулируемого электропривода обеспечивает гибкое регулирование производительности насосной установки и повышение энергоэффективности системы.

Таким образом, внедрение современных систем частотного регулирования является эффективным способом повышения надежности, долговечности и экономичности работы насосных установок.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ключев В.И. Теория электропривода. — Москва: Энергоатомиздат, 2001.
2. Беспалов В.Я., Котеленец Н.Ф. Электрические машины. — Москва: Академия, 2008.
3. Болдеев В.И. Частотно-регулируемые электроприводы. — Москва: Энергия, 2015.
4. Bose B.K. Modern Power Electronics and AC Drives. — Prentice Hall, 2002.

ISSN 3030-3907