

УДК 621.34-52

ЗАДАЧІ АВТОМАТИЗАЦІЇ УСТАНОВОК ВОДОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

*Попович М.Г., д.т.н., проф., Кіселичник О.І., к.т.н., доц.
Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”
03056, Київ, просп. Перемоги, 37
E-mail: koi@gala.net*

Проведен аналіз існуючих і можливих рішень в області автоматизації систем водоснабження з центробіжними насосними установками. Розглянуті напрямки і перспективи подальших досліджень.

Ключевые слова: автоматизація систем водоснабження, електропривод насосних установок, система управління.

The review of available and possible solutions in water supply systems with centrifugal pumps has been presented. The scientific directions and further perspective researches have been considered.

Key words: automation of water supply systems, electrical drive of pumps, control system.

Вступ. В умовах постійного зростання дефіциту та цін на енергоресурси все більша увага приділяється питанням розробки відповідного енергоефективного обладнання та технологій. Враховуючи великі потужності та кількість насосних установок, обмеженість запасів прісної води, розробка електромеханічних систем автоматичного керування (ЕМСАК) водопостачанням з енерго- та ресурсозберігаючими алгоритмами стає однією із пріоритетних задач суспільства.

Аналіз попередніх досліджень. У галузі систем керування водопостачанням вітчизняними та зарубіжними науковцями проведено велику кількість досліджень та розробок [1-51]. Проте, ця інформація носить розрізнений характер і не дає цілісної картини оцінки напрямків та перспектив подальших досліджень. Проведений аналіз існуючої інформації в даній сфері дозволяє виділити три головні напрямки досліджень: вдосконалення технологічних елементів систем водопостачання (технологічне керування), підвищення техніко-економічних показників керування електроприводів насосних установок та водозапірної арматури, розробка ЕМСАК водопостачанням, які, окрім вирішення технологічних задач, реалізують енергозберігаючі алгоритми, що потребують розробки комплексних критеріїв оцінки ефективності з урахуванням взаємовпливу новітньої технології і теорії керування.

Мета роботи - аналіз існуючих та перспективних напрямків досліджень в галузі автоматизації систем водопостачання, розробка відповідних оцінок та рекомендацій.

Матеріал і результати дослідження.

Технологічне керування параметрами відцентрових насосних установок систем водопостачання. Технологічні способи керування параметрами насосних установок представлено на рис.1. Як відомо, змінювати витрати чи тиск в системі водопостачання можна, змінюючи опір гідравлічної ме-

режі, режим роботи насосів чи одночасно те і інше [1-3]. При цьому керування через зміну режиму роботи насосів є більш енергоефективним, але вимагає більших капіталовкладень. Для зміни гідравлічного опору мережі, тобто, непрямої зміни витрат чи тиску використовують засувки (крани, вентилі) з ручним або електромеханічним, гідравлічним, пневматичним виконавчим органом [2,3]. Вищезазначений спосіб фактично означає, що в мережу вводиться додатковий послідовний опір, на якому розсіюється зайва енергія. Коефіцієнт корисної дії системи при цьому суттєво зменшується. Можлива організація дроселювання, яка в електричних колах нагадує підключення паралельних опорів [3]. Замість розсіювання зайвої кінетичної енергії руху води її можна використовувати для приводу гідротурбін [6-8] електрогенераторів, що дозволяє суттєво підвищити коефіцієнт корисної дії установок.



Рисунок 1 – Способи технологічного керування насосними установками системах водопостачання

Змінюючи кількість працюючих насосів у системі водопостачання на основі інформації відповідних датчиків, можна не лише регулювати витрати (напір) відповідно потреб, але й запроваджувати певні енергозберігаючі алгоритми [9-11]. У цьому випадку зайва кінетична енергія води не розсіюється, а дискретно зменшується відповідно до кількості працюючих насосів. Точність керування параметрами визначається дискретністю потужності, яка виводиться з мережі. Послідовне з'єднання насосів застосовується для підвищення напору, паралельне – продуктивності [9,12]. При цьому замість одного насосу високої потужності застосовується декілька нижчої. В системах водопостачання часто практикують одночасне використання як некерованих, так і керованих за швидкістю насосів [13,14].

Електроприводи відцентрових насосних установок систем водопостачання. Зміна обертів насосу є найбільш енергоефективним способом регулювання його параметрів [1,2,5,15,16]. Якщо не змінюється гідравлічний опір мережі, регулювання практично здійснюється при сталій величині ККД насосу. Відомо [1,2], що зменшення швидкості лише на 10% призводить до економії близько 27% енергії. Можливі технічні рішення для зміни обертів насосних установок представлені на рис.2.

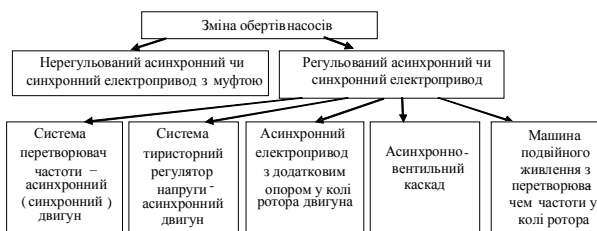


Рисунок 2 – Технічні рішення для зміни обертів насосу

Для зміни швидкості можливе використання нерегульованих електроприводів з асинхронними чи синхронними двигунами, під'єднаних до насосів через муфти [17]. Гасіння зайвої енергії для зменшення швидкості відбувається у муфті (гідравлічній, електричній). Більш енергоефективним є використання керованих електроприводів як з асинхронними, так і з синхронними двигунами. У цьому випадку з мережі живлення за допомогою перетворювача для приводу насосу подається лише енергія, достатня для забезпечення робочого режиму. Найбільшого поширення на даний момент для насосів набувають електроприводи по системі перетворювач частоти – асинхронний (синхронний) двигун [4,18-25]. Сучасні перетворювачі частоти окрім регулювання параметрів напруги живлення двигунів надають можливість замкненого регулювання технологічних параметрів насосу та формування “насосних” ($u/f^2 = \text{const}$) механічних характеристик, які сприяють плавності їх пуску [26]. Більшість з перетворювачів також реалізує алгоритми векторного керування координатами електропривода, що суттєво покращує його

статичні та динамічні характеристики та полегшує інтеграцію електроприводів в складні, багатоконтурні, багатовимірні, розподілені, нестационарні системи керування водопостачанням [27]. Система тиристорний регулятор напруги (ТРН) – асинхронний двигун дає дуже обмежений діапазон регулювання швидкості [17,28-30]. Для його розширення необхідне використання спеціальних двигунів з підвищеним ковзанням або двигунів з фазним ротором, що збільшує втрати активної потужності. Таку систему часто використовують лише для забезпечення плавного пуску насосу, розглядаючи ТРН, як пристрій плавного пуску (soft starter) [13].

Є декілька варіантів реалізації електроприводів з додатковим опором у колі ротора асинхронного двигуна. Це релейно-контакторні схеми, які забезпечують поступове дискретне регулювання швидкості [28], а також схеми з випрямлячем і широтно-імпульсними транзисторними чи тиристорними модуляторами (ключами), які надають можливість плавного регулювання швидкості [31]. Загальним недоліком обох схем є гасіння зайвої енергії на додатковому опорі роторного кола. Підвищити ККД таких систем можливо при поверненні зайвої енергії в мережу живлення. Таку задачу вирішує асинхронно-вентильний каскад, який передбачає ввімкнення в роторне коло паралельно з некерованим випрямлячем керованого інвертора, з'єданого з мережею через узгоджувачий трансформатор [17,28,31,32]. У випадку високих потужностей насосних установок знаходять використання машини подвійного живлення, статорна обмотка яких під'єднується до високовольтної мережі безпосередньо, а роторна до низьковольтної через порівняно дешевий низьковольтний перетворювач частоти [4,28]. Використання принципів векторного керування у цьому випадку дозволяє додатково покращувати коефіцієнт потужності двигуна [33-36].

ЕМСАК насосними установками систем водопостачання. В системах водопостачання використовуються: системи (рис.3) з повною початковою інформацією (стабілізації, програмного керування) та з неповною (кібернетичні) [37,38], які поряд з забезпеченням необхідних технологічних параметрів насосних установок можуть вирішувати питання енергозбереження.

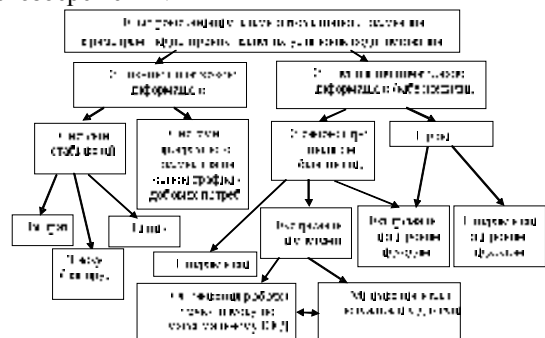


Рисунок 3 – ЕМСАК водопостачанням

Стабілізація напору в диктуючій точці гідравлічної мережі забезпечує автоматичне зменшення (збільшення) швидкості насосу при відповідному коливанні водовідбору [1,39]. Стабілізація рівнів води в резервуарах з метою енергозбереження організовується таким чином, щоб геодезичний перепад висот при перекачуванні був мінімально можливим [1]. Стабілізація витрат використовується, в основному, в системах дозування та змішування [40]. Технічна реалізація систем стабілізації здійснюється на основі керованих силових електроприводів насосних установок і сервоприводів запірної арматури.

Системи програмного керування змінюють швидкість насосів у відповідності до графіків добового споживання, які формують наперед шляхом експериментальних досліджень [1,2]. Для реалізації програмуемого задавача (нейропродиктора) напору (швидкості) насосу можливе використання нейронних мереж [41].

Кібернетичні системи автоматично забезпечують пошук бажаного режиму роботи насосної установки (системи з самонастроюванням, адаптивні), або, враховуючи особливості поведінки споживачів, ініціюють певну гру (ігрові), в результаті якої досягається енергозбереження.

Інтерактивні системи змінюють напір (витрати) на основі оцінки побутової активності споживачів. Непряма її оцінка можлива на основі вимірювання споживання електричної енергії будинками, мікрорайонами, тощо [42]. При цьому в систему вводиться деяке запізнення по керуванню, що враховує часовий зсув між початком електроспоживання та водоспоживання. Прив'язаність системи водопостачання до системи електропостачання зменшує надійність доставки води та підвищує конфліктність відносин водо- та електропостачальних компаній. У випадку промислових систем водопостачання активність споживачів можна оцінити на основі стану локальної запірної арматури, оснащеної сервоприводами [43].

При екстремальному керуванні автоматично забезпечується режим роботи насосу з максимально можливим ККД при заданих витратах [44-46] або привідного двигуна з мінімумом сумарних втрат потужності [47-50]. Можливий також підхід, при якому підсистема мінімізації втрат у двигуні є підпорядкованим контуром системи пошуку робочої точки насосу з максимально-можливим ККД [44-46]. Залежність ККД насосу від величини витрат для кожного конкретного значення обертів має точку максимуму, а функція втрат потужності в двигуні для сталих значень частоти напруги живлення та моменту навантаження носить параболічний характер. Для технічної реалізації процедури пошуку робочого режиму насосу з максимально-можливим ККД при поточній швидкості використовуються експериментальні (каталожні) напірні характеристики, отримані для точок з максимально-можливими ККД. Впровадження технології мінімізації втрат потужності в двигуні вимагає використання перетворювача частоти з окремим керуванням частотою і амплітудою.

В інтерактивних системах [51,52] з ігровим підходом контролер дискретно змінює оберти насосу (формує правила гри) і оцінює реакцію споживачів. Порівнюючи реальну величину водоспоживання з теоретичною, яка мала б виникнути при зміні обертів, пропорційно зменшує чи збільшує оберти. Якщо споживачі не реагують на зміну обертів (витрат), тобто не приймають правила гри, то швидкість поступово фіксовано зменшується. Таким чином, автоматично визначається мінімально-достатня швидкість насосу для задоволення потреб споживачів. Можливе поєднання екстремального керування з ігровим підходом.

Висновки. На сучасному етапі економічного розвитку суспільства, який характеризується різким подорожчанням енергетичних ресурсів, автоматизація систем водопостачання повинна не лише забезпечувати необхідні технологічні параметри напору та витрат води, надійність та енергоефективність доставки води до споживача, а також формувати енерго- і ресурсоощадливу поведінку суспільства та моніторити споживання ресурсів.

Для насосів малої та середньої потужностей доцільно використовувати електроприводи з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором при живленні від транзисторних перетворювачів частоти з можливістю формування „насосних” механічних характеристик. Для насосів високої потужності – з машинами подвійного живлення з транзисторним перетворювачем частоти в колі ротора.

В складних, багатоконтурних, багатовимірних ЕМСАК водопостачання перспективним є використання векторно-керованих асинхронних двигунів.

Системи стабілізації напору в диктуючій точці водогону варто поєднувати з підключенням (відключенням) паралельно-працюючих насосних агрегатів (каскадно-частотне керування).

У випадку, коли при суттєвому зменшенні споживання подача води не може бути зменшена, кінетичну енергію потоку рідини з метою енергозбереження доцільно перетворювати в електричну за допомогою гідротурбін.

Через значне просторове розосередження систем водопостачання перспективно є розробка бездатчикових ЕМСАК та ЕМСАК з безпроводною передачею даних, застосування принципів телемеханіки.

Застосування систем диспетчерського керування та збору інформації (SCADA) водопостачання дозволить підвищити надійність та централізувати процедуру моніторингу споживання та аварій.

Збільшення рівня енергозбереження в системах водопостачання в порівнянні з традиційними системами (наприклад, стабілізації напору) потребує ідентифікації потреб споживачів в масштабі реального часу або організації гри між системою та споживачами, яка змушує їх до ресурсо- і енергоощадливої поведінки. Для реалізації вище зазначеного заслуговує уваги використання принципів побудови ЕМСАК на основі теорії нейронних мереж та фазілогіки, а також цифрових сигнальних процесорів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Закладной А.Н., Праховник А.В., Соловей А.И. Энергосбережение средствами промышленного электропривода. – К.: Дія, 2001 г.
3. Онищенко Г.Б., Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. – М.: Энергия, 1972. – 240 с.
4. Мустафин М.А. Энергосберегающие системы электропривода центробежных насосных агрегатов / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы/ Республика Казахстан, Алматы. – 2007. – 43 с.
5. Лезнов Б.С., Чебанов В.Б. / Применение регулируемого электропривода в насосных установках систем водоснабжения и водоотведения / “Электротехника”, №7, 1995. – С. 9-12.
6. Перекрест А.Л., Коренькова Т.В. Структура системы регулирования параметров насосной установки с активным регулирующим устройством // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Тематичний випуск “Проблеми автоматизованого електропривода” // Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2007. – С. 267-272.
7. Перекрест А.Л., Коренькова Т.В. Характеристики турбомеханизмов в двигательном и тормозном режимах электропривода // Електромашинобудування та електрообладнання. Тематичний випуск “Проблеми автоматизованого електропривода”, Випуск 66, Київ, “Техніка”, 2006. – С.180-183.
8. Перекрест А.Л., Коренькова Т.В. Определение параметров системы активного регулирования производительности турбомеханизмов // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип. 2(19), Т.2. – С. 73-77.
9. Попович М.Г., Кіселичник О.І. // Питання теорії автоматизації багатоагрегатних насосних станцій на основі принципу пасивності // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 5, 2006. С. 54-59.
10. Николаев В.Г. Энергосберегающие способы управления лопастными насосными агрегатами в системах водоснабжения при нестационарной нагрузке// Сантехника, №4, 2006 // www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=3355
11. Коренькова Т.В., Курбанова И.Г. Рациональные системы электропривода групповых насосных установок // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип. 2(19), Т.2. – С. 30-35.
12. Електромеханічна система автоматичного керування продуктивністю паралельно-працюючих турбомеханізмів на основі принципу пасивності / М.Г.Попович, О.І.Кіселичник // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. Вісник НТУ“ХП”, Випуск 45, 2005. С. 214-218.
13. Родин Я.Н., Сидорин А.Е. Каскадно-частотное управление асинхронными двигателями на насосных станциях // Электротехнические комплексы и системы управления, №2, 2006 / www.vitc.ru/electrotech.
14. Красильников А.И. Автоматизированные насосные установки с каскадно-частотным управлением в системах водоснабжения / Строительная инженерия, №2, 2006.
15. Закладний О.М., Тимченко Т.М., Передрій В.Ю., Гром В.В. Енергозберігаючі аспекти застосування частотно-регульованого електропривода // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип. 2(19), Т.1. – С.136-139.
16. Оттерпол Г., Р.Хюбнер / Технические и экономические аспекты применения энергосберегающих электроприводов в насосных и вентиляторных механизмах (из опыта фирмы “Elpro AG”, Германия) / “Электротехника”, №7, 1995. – С. 12-16.
17. Теория автоматизированного электропривода/ Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.
18. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / Під редакцією М.Г.Поповича та Лозинського О.Ю., Київ, Либідь, 2005, - 672с.
19. Эпштейн И.И. Автоматизированный электропривод переменного тока. – М.: Энергоиздат, 1982. -192 с.
20. Місюренко В.О. Частотно-керований електропривод насосної станції водовідведення / Електромашинобудування та електрообладнання. “Проблеми автоматизованого електропривода”, Випуск 66, Київ, “Техніка”, 2006. – С. 184-185.
21. Коренькова Т.В., Михайличенко Д.А., Перекрест А.Л., Костюк Ю.С., Сердюк А.А. Исследование системы ПЧ – АД – насос – гидросеть // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип. 2(19), Т.2. – С. 277-281.
22. Зинченко В.М., Б.М.Сарач / Опыт применения энергосберегающего электропривода на насосной станции МЭИ / “Электротехника”, №7, 1995. – С. 21-22.
23. Сарач Б.М., Бастунский А.М. / Заводские и натурные испытания насосных агрегатов с преобразователями частоты / “Электротехника”, №7, 1995. – С. 19-20.
24. Луговой А.В. / К теории энергосбережения средствами промышленного электропривода/ “Электротехника”, 1999, №5. – С. 62-67.
25. Шевчук С.П., Воробьева Н.П., Шевчук Н.И., Шевчук Н.А./ Технично-економічна оцінка ефективності застосування преобразователей частоты электроприводов для регулирования производительности механизмов с вентиляторной характеристикой момента на валу / Энергетика: економіка, технології, екологія. Науковий журнал. №1(16) – 2005. – С. 17-25.
26. Попович М.Г., Теряев В.І., Кіселичник О.І., Бур’ян С.О.// Особливості синтезу та дослідження електромеханічних систем з послідовною корекцією та частотно регульованими асинхронними двигунами // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2007 (44). Частина 2. С. 12-16.
27. Пересада С.М. “Векторное управление в асинхронном электроприводе: аналитический обзор”. Вестник ДГТУ, 1999. – С. 1-23.
28. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоатомиздат, 1983. - 616 с.

29. Ильинский Н.Ф. / Энергосберегающий электропривод насосов / “Электротехника”, №7, 1995. –С. 3-7.
30. Анисимов В.А., Горнов А.О., Москаленко В.В., Рожанковский Ю.В. / Возможности энергосбережения в асинхронном электроприводе с тиристорными регуляторами напряжения при вентиляторном характере нагрузки / “Электротехника”, №7, 1995. – С. 17-19.
31. Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г. // Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов.— Л.: Энергоиздат. Ленингр. отделение, 1982. — 392 с, ил.
32. Кіселічник О.І., Халімовський О.М. Цифрова система керування швидкістю асинхронно-вентильного каскаду // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Науково-технічний журнал. №1(21), 2002. – С. 111-118.
33. Пересада С.М., Болотников А.Ю., Ковбаса С.Н., Крижановский В.П. Разработка алгоритмов векторного управления пуском, возбуждением и синхронизацией машины двойного питания и их экспериментальное тестирование / Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Тематичний випуск “Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика”/ Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2007. – С. 399-402.
34. Пересада С. М., Болотников А. Ю., Ковбаса С. Н. Основанный на принципе пассивности алгоритм векторного управления асинхронным двигателем при питании со стороны ротора. / Технічна електродинаміка. Тематичний випуск „Проблеми сучасної електротехніки”. – Київ. – 2006. – С. 83-88.
35. Пересада С.М., Король С.В. Управление скоростью асинхронной машины двойного питания на основе косвенной ориентации по вектору потока сцепления статора // Технічна електродинаміка 2003. – ч. 1. – С. 14-18.
36. Пересада С.М., Шаповал И.А., Король С.В. Экспериментальное тестирование алгоритмов управления машиной двойного питания // Технічна електродинаміка 2003. – ч. 2. – С. 29-35.
37. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. – К.: Либідь, 2007. –656 с.
38. Ковальчук П.И. Системные имитационно-игровые методы в АСУ ресурсосберегающим орошением. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. – Киев, 1991. –36 с.
39. Електромеханічні системи автоматичного керування робочими параметрами турбомеханізмів на основі принципу пасивності / М.Г.Попович, О.І.Кіселічник // Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. Вісник НТУ“ХПІ”, Випуск 43, 2004. С. 16-19.
40. Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселічник О.І., Бур’ян С.О. Динаміка електромеханічних систем автоматичного керування турбомеханізмами з екстремальними напірними характеристиками // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Проблеми автоматизованого електропривода, 2007. С. 407- 411.
41. Лозинський А.О., Кінчур О.Ф. “Синтез нейроредиктора системи керування електроприводом насосної станції на основі нейронних мереж прямого поширення сигналу” // Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Тематичний випуск. Проблеми автоматизованого електропривода, 2007. С. 299-300.
42. Ольшевський О.М., Сергєєв С.О., Колотило В.Д. “Система управління насосною станцією міської системи водопостачання”// Патент України №68448. Дата публікації 15.03.2004.
43. Бусов Ю.Ю., Іванищев К.Г., Рожков А.Н. “Способ регулирования напора в водопроводной сети” // Патент РФ №2056480. Дата публикации 20.03.1996.
44. Особенности экстремальных электромеханических систем автоматического управления и задача энергосбережения / Н.Г.Попович, Н.В.Печеник, О.И.Кіселічник, А.В.Ковальчук // Електротехніка, №3, март 2003. С. 12-17.
45. Дослідження екстремальної енергозберігаючої нейронної системи автоматичного керування насосом водопостачання / О.І.Кіселічник// Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2003. – Вип. 2(19). Т.1. – С. 78-82.
46. Екстремальні енергозберігаючі електромеханічні системи автоматичного керування насосними установками / М.Г.Попович, М.В.Печеник, О.І.Кіселічник // Проблеми автоматизованого електропривода. Вісн. Нац. техн. уні-ту “ХПІ”. - Вип.12, том.1, 2002. - С. 37-41.
47. Особливості організації екстремальних енергозберігаючих систем при різних методах керування асинхронних електроприводів / М.Г.Попович, М.В.Печеник, О.І.Кіселічник, О.В.Ковальчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. Випуск 1/2002(12). Кременчук, 2002. – С. 129-132.
48. Екстремальні енергозберігаючі електромеханічні системи з асинхронним електроприводом / М.Г.Попович, М.В.Печеник, О.В.Ковальчук, О.І.Кіселічник // Вісн. Нац. техн. уні-ту “ХПІ”. Збірка наукових праць, 2001. – Вип. 10. С. 314-318.
49. Електромеханічні енергозберігаючі екстремальні системи при векторному керуванні асинхронних двигунів / М.Г.Попович, М.В.Печеник, О.І.Кіселічник, О.В.Ковальчук // Електромашинобудування та електрообладнання. Одеський національний політехнічний університет. Вип. 57. Київ, “Техніка”, 2001. – С. 3-11.
50. Ильинский Н.Ф., Рожанковский Ю.В., Горнов А.О. Энергосбережение в электроприводе. - М.: Высшая школа.1989г.
51. Попович М.Г., Печеник М.В., Кіселічник О.І., Соколовський О.Ф. Енергозберігаючі інтерактивні електромеханічні системи автоматичного керування насосними установками / Електромашинобудування та електрообладнання. Тематичний випуск: проблеми автоматизованого електропривода. Випуск 66. Київ, „Техніка”, 2006. С. 311-314.
52. Попович М.Г., Кіселічник О.І., Бур’ян С.О., Соколовський О.Ф./ Експериментальні дослідження роботи інтерактивного енергозберігаючого контролера на гібридній моделі насосної установки // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2007 (44). Частина 1. С. 72-75.

Стаття надійшла 12.04.2008 р.