

УДК 621.65

Розглянуте питання системного аналізу і математичного моделювання складних інженерних систем на прикладі комплексу подачі і розподілу води в житлово-комунальному господарстві

Ключові слова: системний аналіз водопостачання, насосне обладнання

Рассмотрен вопрос системного анализа и математического моделирования сложных инженерных систем на примере комплекса подачи и распределения воды в жилищно-коммунальном хозяйстве

Ключевые слова: системный анализ, водоснабжение, насосное оборудование

The problem of system analysis and mathematical modeling of complex engineering systems by the example of the complex water supply and distribution of housing and communal services

Key words: systematic analysis, water supply, pumping equipment

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ КОМПЛЕКСУ ПОДАЧІ І РОЗПОДІЛУ ВОДИ В ЖИТЛОВО- КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

С.О. Хованський

Аспірант

Кафедра прикладної гідроаеромеханіки*

Контактний тел.: 099-495-97-45

E-mail: Serg_83@ukr.net

В.Г. Неня

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедри інформатики*

Контактний тел.: 066-454-19-29

E-mail: nenja_vg@mail.ru

*Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007

1. Вступ та актуальність роботи

Системи водопостачання відносяться до об'єктів життєзабезпечення і підтримання санітарно-епідеміологічної безпеки населення, тобто є соціальною складовою національної безпеки країни. Разом з цим системи водозабезпечення належать до числа найбільш ресурсо- та енергоємних технологічних об'єктів у комунальному господарстві [1]. Пошук шляхів зниження енергоємності водопостачання є актуальною проблемою сьогодення, оскільки має як соціальні так і економічні аспекти, а саме поліпшення умов життя людей, підвищення економічного потенціалу держави, зменшення екологічного навантаження на навколишнє середовище тощо.

Система подачі і розподілу води (СПРВ) на сучасному етапі є складним комплексом інженерних споруд, машин і апаратів. Кожен елемент СПРВ виконує специфічні функції та характеризується певними параметрами. СПРВ в житлово-комунальному господарстві характеризуються безліччю робочих станів, при цьому елементи системи не завжди працюють у власних робочих діапазонах з максимальною ефективністю, що може призводити до виходу з ладу елемента та зниження ефективності системи в цілому [1]. Підвищення ж ефективності роботи окремого елемента системи не завжди гарантує підвищення ефективності функціонування системи в цілому [2, 3].

Технічні системи, що характеризуються складними взаємозв'язками між елементами, перетворенням енергії з одного виду в інший, невизначеністю технічних характеристик елементів, безліччю робочих станів, як кожного елемента, так і системи в цілому, потребують цілісного системного аналізу.

2. Аналіз попередніх досліджень

Інженерам та науковцям у галузі технічних наук притаманний комплексний підхід до розгляду досліджуваних об'єктів та процесів, при якому розглядаються усі складові та взаємодія між ними. Разом з тим, ця ідеологія сформувалась у окремий науковий напрямок – системний аналіз та його складову стосовно технічних систем – системотехніку [2 – 5]. Дана наукова дисципліна є досить затребуваною серед науковців але широко декларується лише серед методів дослідження та аргументування окремих положень. У наявній науково-методичній літературі з водопостачання, гідравлічних мереж, динамічних насосів та прикладів конкретного застосування системного аналізу як методики дослідження технічних систем, вкрай обмаль, а в галузі динамічних насосів зазначені методи майже не використовуються. У поодиноких прикладах системний аналіз застосовуються до окремих аспектів функціону-

вання досліджуваних об'єктів, а не до систем в цілому, де об'єкт є однією з складових системи.

3. Мета та задачі роботи

Метою даної роботи є підвищення ефективності функціонування систем подачі та розподілу води. При цьому, вирішується задача проведення системного аналізу для виявлення найважливіших та першочергових заходів удосконалення СПРВ.

4. Матеріали та результати дослідження

На першому етапі системного аналізу досліджувані об'єкти розглядаються як "чорна скриня", визначається мета функціонування досліджуваного об'єкту, головна функція, вхідні та вихідні елементи, ресурси та результат, критерії та міри ефективності функціонування [2 – 5].

Призначення системи водопостачання, як функції, для виконання якої система створена, полягає у забезпеченні споживачів водою за нормованого тиску у всьому діапазоні зміни витрат. При цьому, необхідно вирішити задачу забезпечення економічного функціонування системи подачі та розподілу води. Структурна схема СПРВ представлена на рис. 1.

У СПРВ проходить процес перетворення електричної енергії в гідравлічну енергію рідини. Вхідним елементом є вода (об'єм $V_H, м^3$) з певним значенням початкової гідравлічної енергії. До ресурсів у основному відноситься електрична енергія (потужність $N, кВт\cdot год$), що витрачається на привід насосів, та початкове значення гідравлічної енергії рідини (напір $H_H, м$). Вихідним елементом є об'єкт системи подачі та розподілу, доставлений до місця призначення, зазначеного споживачем, а саме вода (об'єм $V_K, м^3$). До результату відноситься вода з певним значенням гідравлічної енергії ($H_K, м$).

Для технічних систем виділяють рівні роботи, пов'язані з різноманітними режимами функціонування систем [3]. Так, для СПРВ можна виділити наступні види робіт: режим безперервної дії з постійним графіком водоспоживання у часі; режим безперервної дії зі змінним графіком водоспоживання у часі; режим перервної дії з постійним графіком водоспоживання у часі; режим перервної дії зі змінним графіком водоспоживання у часі.

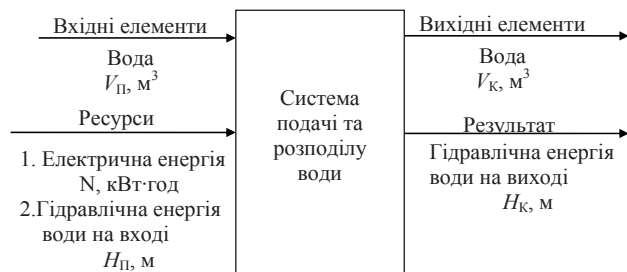


Рис. 1. Структурна схема СПРВ

При визначенні технічних критеріїв функціонування системи використовують різні комбінації вхідних,

вихідних елементів, ресурсу та результату [4]. Таким чином, технічний рівень функціонування СПРВ може характеризуватися наступними критеріями та мірами ефективності (див. рис. 1):

1. Ступінь втрат води в системі – відношення кількості води, яку отримав споживач, до води перекачаної насосними станціями: $K_1 = V_K / V_H$;

2. Гранична енерговитратність системи – ідеальний випадок функціонування системи, якщо в ній відсутні втрати енергії: $K_2 = H_K - H_H$;

3. Енергетична ефективність функціонування системи – відношення приросту гідравлічної енергії до затраченої електроенергії: $K_3 = (H_K - H_H) / N$;

4. Початкова питома вага гідравлічної енергії: $K_4 = H_H / V_H$;

5. Питома вага гідравлічної енергії, отриманої споживачем: $K_5 = H_K / V_K$;

6. Енергоефективність системи – відношення затраченої електричної енергії на привід електродвигунів N до отриманої води споживачем: $K_6 = N / V_K$.

На другому етапі системного аналізу будують структурно-функціональну схему, визначають призначення і характеристики кожної підсистеми комплексу та встановлені взаємозв'язки між ними [2 – 5].

Розглянемо систему водопостачання, основні елементи якої зображені на рис. 2. У цій системі: 1 – джерело гідравлічної енергії, місце забору води (резервуар, водоводи низького тиску тощо); 2 – водоводи системи подачі та розподілу води на насосну станцію з запірно-регулюючою арматурою; 3 – мережа електроживлення; 4 – електричний привід насосів (синхронні чи асинхронні електричні двигуни); 5 – насоси насосної станції; 6 – водоводи системи подачі та розподілу води до споживача з запірно-регулюючою арматурою; 7 – споживач води. Незаперечно основними елементами системи є насоси насосної станції. Відносно них третій (мережа електроживлення) та четвертий (електричний привід) елементи у сукупності складають вхідну електричну підсистему. Перший та другий елементи у сукупності складають гідравлічну вхідну підсистему. Шостий (мережа водопадів з запірно-регулюючою арматурою) та сьомий (споживач) елементи входять до складу гідравлічної вихідної підсистеми.

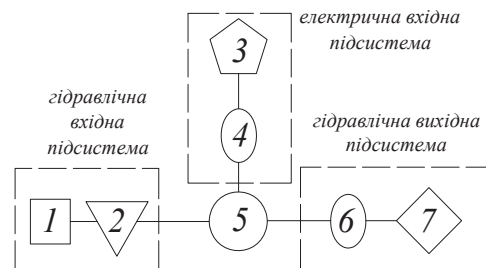


Рис. 2. Структурна схема комплексу подачі та розподілу води

Зупинимося детально на призначенні і характеристиках підсистеми:

1. Електрична вхідна підсистема призначена для доставки електричної енергії і перетворення її у механічну та складається з наступних елементів:

– мережа електроживлення – здійснює електрозабезпечення СПРВ та характеризується опором

електричної мережі та втратами на подолання цього опору;

– електричний привід насосів (синхронні чи асинхронні електричні двигуни) – здійснює перетворення електричної енергії в механічну. Даний елемент системи характеризується залежністю обертового моменту від частоти обертання ротора електродвигуна, геометрична інтерпретація якої для асинхронних двигунів представлена на рис. 3.

2. Гідравлічна вхідна підсистема призначена для доставки води з певним запасом гідравлічної енергії та складається з наступних елементів:

– джерела гідравлічної енергії, місце забору води (резервуар, водоводи низького тиску тощо), характеристика яких представлена на рис. 3;

– водоводи системи подачі та розподілу води на насосну станцію з запірною-регулюючою арматурою – забезпечують транспортування та розподіл води від джерела до насосу та мають характеристику, представлену на рис. 3.

3. Насос – призначений для перетворення механічної енергії приводу (електродвигуна) у гідравлічну енергію рідини та має характеристики, представлені на рис. 3.

4. Гідравлічна вихідна підсистема призначена для доставки води з певним запасом гідравлічної енергії, її розподілу у споживача та складається з наступних елементів:

– водоводи системи подачі та розподілу води на насосну станцію з запірною-регулюючою арматурою – забезпечують транспортування та розподіл матеріальних ресурсів до споживача та мають характеристику, представлену на рис. 3;

– споживач – елемент, для забезпечення потреб котрого призначена вся система.

В реальних умовах споживачами води можуть бути, як окремі (приватний будинок, квартира), так і групові (багатоповерховий будинок, група будинків) об'єкти, які можуть знаходитися на значній відстані один від одного. У даному випадку ми замінюємо групу реальних споживачів умовним споживачем, котрому притаманні наступні умови та обмеження:

– споживача необхідно безперервно забезпечувати водою у всьому діапазоні від Q_{max} до Q_{min} , при чому кожне значення витрати у цьому діапазоні має певне значення ймовірності;

– вільний напір у господарсько-питному водопроводі у споживача не повинен перевищувати 60 м (відповідно СНіП 2.04.02 – 84).

– мінімальне значення необхідного вільного напору в системах комунального водопостачання відповідно до СНіП 2.04.02 – 84 у точці приєднання споживача до зовнішньої водопровідної мережі визначається як:

$$H = 10 + 4 \cdot (n - 1),$$

де n – кількість поверхів будинку.

Враховуючи вищезазначене можна стверджувати, що споживач у даній системі має власну гідравлічну характеристику для забезпечення своїх потреб, представлену на рис. 3. Необхідно також зазначити, що передумовою такого твердження в системах господарсько-питного водоспоживання є СНіП 2.04.02 – 84, у виробничих процесах – нормативні вимоги до здійснення технічного процесу.

У досліджуваній системі не всі елементи мають характеристики такої простої прямолінійної форми. Для трубопроводів це будуть квадратичні параболи, моментна характеристика електричного асинхронного двигуна апроксимується залежністю Клосса, напірна характеристика насоса – довільна крива. Якщо характеристики елементів СПРВ розташувати у порядку знаходження виділених підсистем, то отримаємо розрахункову схему функціонування системи (рис. 3).

Аналіз рис. 3 показує, що робоча точка функціонування системи визначається шляхом узгодження усіх характеристик і є задачею нелінійною та достатньо складною. Зміни у одному окремо вибраному елементі неминуче вплинуть на параметри функціонування усієї системи. Тому, вирішення кожної із поставлених задач необхідно виконувати з урахуванням даного положення. Такий підхід опрацьовано в роботі [6]. Встановлено, що характеристики відцентрових насосів змінюються залежно від навантаження на насос, за рахунок зміни частоти обертання ротора, що також ускладнює процес моделювання СПРВ в цілому.

Практика вирішення задач нелінійної динаміки вказує на те, що отримати на виході із системи необхідні параметри практично неможливо. Крім того, СПРВ працює цілодобово у різних умовах. Це вказує на те, що у даній системі необхідно запровадити регулювання. Причому, об'єктом регулювання є параметри води на виході із системи, а вибір регулятора є окремою оптимізаційною задачею, оскільки усі підсистеми СПРВ можуть виконувати дану функцію.

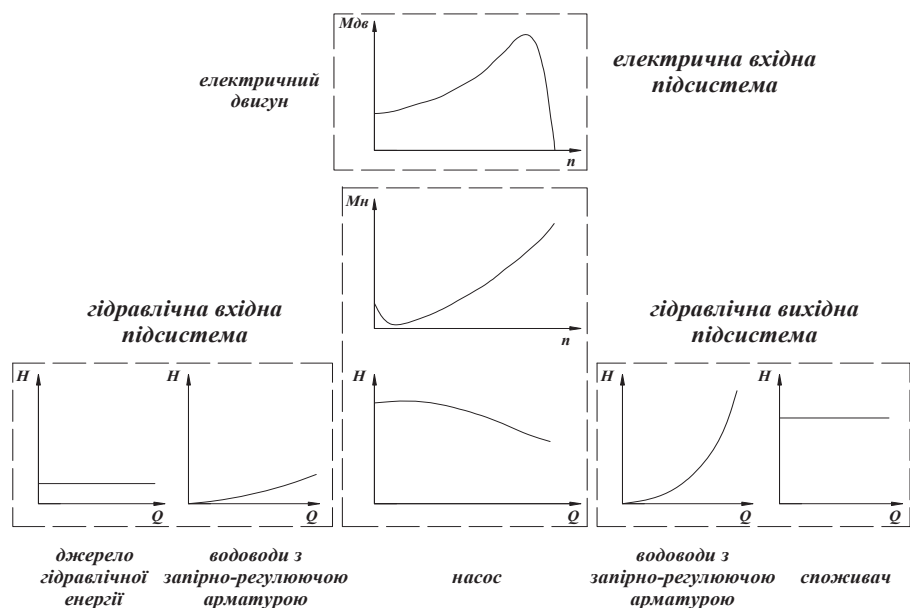


Рис. 3. Структурна схема функціональної взаємодії підсистем СПРВ

Одним із шляхів покращання умов експлуатації енергоперетворюючого обладнання у СПРВ та процесу регулювання є використання насосного обладнання із формами характеристик, що найкращим чином задовольняють конкретним умовам. Так у роботі [7] встановлені вимоги до форми характеристики насосів для умов використання одного та декількох насосів, що працюють паралельно на мережу, а також до насосів, які працюють у режимі регулювання частоти обертання їх ротора.

Враховуючи вищесказане, система подачі та розподілу води – це технічна замкнута, динамічна система, яка є ієрархічно впорядкованою, складається з підсистем, централізованою, оскільки центральним і основним елементом є насос, має властивості інерційності, тому вимагає певного часу для переходу з одного режиму роботи на інший, та властивості адаптивності, через що зберігає свої функції при збурених діях навколишнього середовища та налаштовується під нові умови.

5. Висновки

Проведено аналіз функціонування СПРВ та системний аналіз її функціонування і вперше визначені наступні положення:

1. Споживач має власну характеристику в координатах $H = f(Q)$;

2. Функціонування СПРВ націлене на забезпечення вказаної характеристики, отже параметри потоку на виході із СПРВ є об'єктом регулювання в даних системах і можливість забезпечення даної характеристики є умовою придатності (відбору) різних способів регулювання;

3. Визначені показники ефективності функціонування системи подачі та розподілу води;

4. Для аналізу впливу окремих змін однієї підсистеми необхідно виконувати моделювання роботи усієї СПРВ.

Література

1. Євтушенко А.О. Визначення оптимального складу насосної станції / А.О. Євтушенко, В.Г. Неня, І.М. Сотник, С.О.Хованський // Вісник Кременчуцького державного університету. – 2008. – Вип. 4/2008 (51). – С. 168 – 171.
2. Спицнадель В. Н. Основы системного анализа: Учеб. пособие / В. Н. Спицнадель. – СПб.: «Изд. дом «Бизнес-пресса», 2000. – 326 с.
3. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ (наука и искусство решения проблем): Учебник / Ф.П Тарасенко. – Томск: Из-во Том. у-та, 2004. – 186 с.
4. Романов В.Н. Системный анализ для инженеров / В.Н. Романов. – СПб.: СЗГЭТУ, 2006. – 186 с.
5. Згуровський М.З. Основи системного аналізу / М.З. Згуровський, Н.Д. Панкратова. – К.: Видавнича група ВУВ, 2007. – 554 с.
6. Неня В.Г. Зовнішнє проектування відцентрових насосів / В.Г. Неня, В.П. Захарченко // Промислова гідраліка та пневматика. – 2008. – №1 (19). – С. 71 – 74.
7. Хованський С.О. Вимоги до форми енергетичних характеристик відцентрових насосів гідралічних мереж комунального водопостачання / С.О. Хованський // Промислова гідраліка та пневматика. – 2010. – №1(27). – С. 56 – 61.