

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ СИСТЕМ ПОДАЧІ І РОЗПОДІЛУ ВОДИ ТА ШЛЯХІВ ЇЇ ВИРІШЕННЯ

*Розглянуто існуючі проблеми забезпечення ефективної сумісної роботи взаємодіючих споруд, досліджено сучасний стан водопровідних насосних станцій, проаналізовано методи регулювання потоку в системах водопостачання.*

**Ключові слова:** система водопостачання, насосна станція, частотне регулювання, енергоефективність.

*Рассмотрены существующие проблемы обеспечения эффективной совместной работы взаимодействующих сооружений, исследовано современное состояние водопроводных насосных станций, проанализированы методы регулирования потока в системах водоснабжения.*

**Ключевые слова:** система водоснабжения, насосная станция, частотное регулирование, энергоэффективность.

*The article considers the existing problems of ensuring efficient joint operation of interacting structures, investigates the current state of water supply pumping stations, analyzes flow control methods in water supply systems.*

**Key words:** water supply system, pumping station, frequency regulation, energy efficiency.

Нині в системах водопостачання України нагальної уваги потребують проблеми, пов'язані недостатньою ефективністю роботи споруд, фізичним і моральним їх спрацюванням, високою аварійністю системи, значними енергозатратами на подачу води споживачам та зростанням її собівартості. Зміна протягом останніх десятиліть норм і режимів водоспоживання в населених пунктах призвела до ситуації, коли фактичні витрати води мають значно нижчі показники, ніж передбачені проектом, а тому існуючі насосні агрегати часто працюють за межами рекомендованого застосування, тобто з низькими ККД та великими перевитратами електроенергії, створюючи при цьому значні надлишкові тиски в мережах водопостачання з усіма негативними наслідками. Враховуючи спрацюваність основних фондів на більшості комунальних підприємств, особливо стан водопровідних мереж, очевидно, що таке становище призводить до суттєвих втрат води через

витоки та зростання числа аварійних ситуацій. В результаті цього в Україні питомі витрати електроенергії на подачу води споживачам мають значно вищі показники, аніж в інших країнах Європи, а тому системи водопостачання вимагають реконструкції та забезпечення енергоощадних режимів роботи, оскільки одну з найвагоміших часток при формуванні собівартості води, як правило, становлять саме витрати за споживану електроенергію, насамперед, внаслідок роботи насосних агрегатів.

За даними [1] в системах водопостачання у 2015 році перебувало 7261 водопровідних насосних станцій із сумарною фактичною потужністю – 6283,14 млн. м<sup>3</sup>/рік. При цьому їх проектна потужність становила 14915,11 млн. м<sup>3</sup>/рік, тобто майже у 2,4 рази була більшою від потреби. У розрізі окремих областей найгірша ситуація мала місце в Одеській та Луганській областях, де проектна потужність водопровідних насосних станцій перевищувала фактичну у 6,6 та 6,2 разів, відповідно. У трьох областях (Львівська, Черкаська і Чернівецька) та м. Київ проектна та фактична потужність були практично однаковими (рис. 1, а). Технічний стан водопровідного насосного обладнання сумарно по країні (без Чернігівської обл.) був наступним: із 14665 насосів заміни потребували 3850 або 26,3%, з них протягом року було замінено 936 або 24,3%; у 2014 році ці показники, відповідно дорівнювали 14384, 3861 або 26,8% та 1005 або 26%. У Чернівецькій області та м. Київ замінено відповідно лише 3,8 та 3,9% від потреби, у Херсонській області – 5,4%. Найкращі показники були у Сумській та Київській областях, де протягом року замінено 79,3 та 72,1% від потреби (рис. 1, б).

Витрати електроенергії у системах водопостачання за 2015 рік порівняно з попереднім роком практично у всіх областях та місті Київ понизились, за виключенням Дніпропетровської, Київської, Черкаської та Хмельницькою областей, де цей показник, навпаки, дещо збільшився (рис. 2). Питомі витрати електроенергії на виробництво питної води найменші у Київській області (270 кВт·год на 1000 м<sup>3</sup> води), а найбільші – у Тернопільській (1943 кВт·год на 1000 м<sup>3</sup> води).

Змінити подачу можна за рахунок зміни характеристик насосів або мереж. Регулювання подачі поділяють на якісний, кількісний або комбінований методи. При якісному методі регулювання відбувається за рахунок зміни характеристик насоса чи насосної станції в цілому, при кількісному – за рахунок зміни характеристик мережі, а при комбінованому методі зміна характеристик насоса та мережі відбувається одночасно та взаємозв'язано. ККД електропривода в усьому робочому діапазоні суттєво залежить від методу, що використовується для регулювання [2].

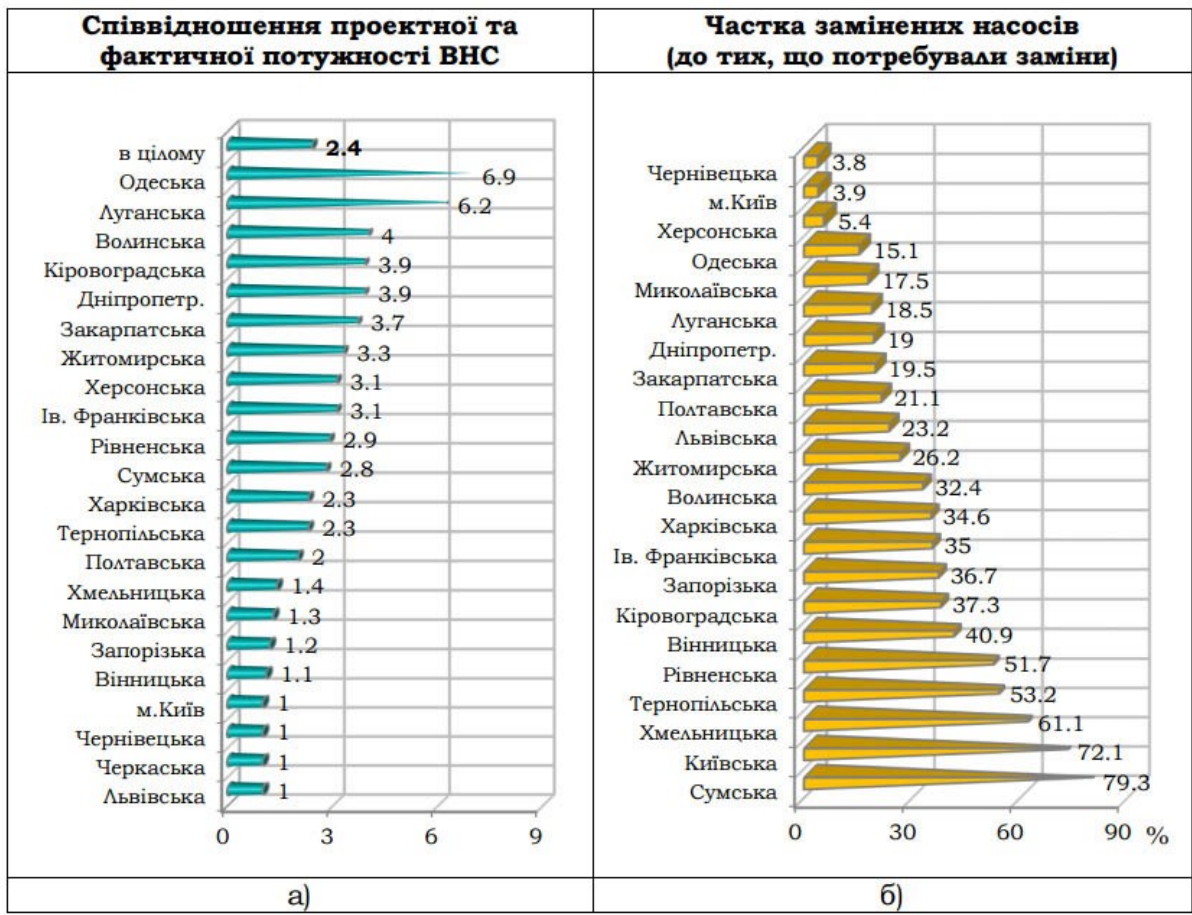


Рис. 1. Результати досліджень ВНС по областях України

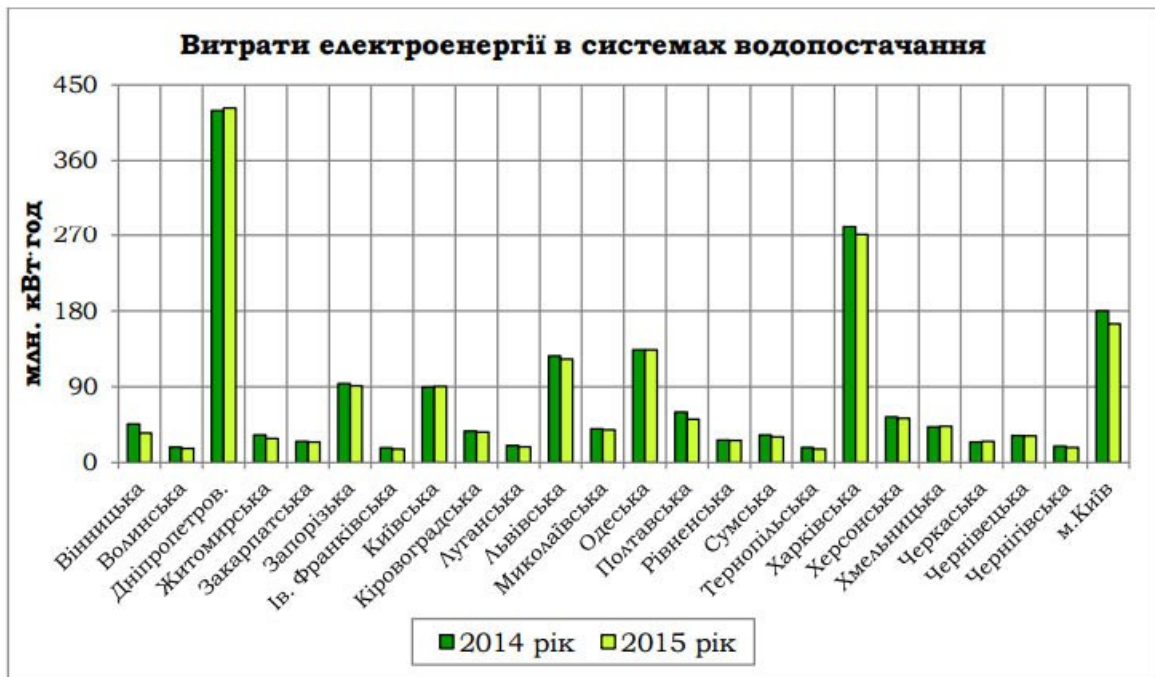


Рис. 2. Дослідження витрат електроенергії по різним областям України

До кількісних методів регулювання відносять: дроселювання напірної або всмоктувальної сторони насоса; перепускання (байпасування); впускання повітря у всмоктувальну трубу насоса. До якісних методів регулювання належать: зміна числа паралельно працюючих насосів; комбінація включення паралельно працюючих насосів (використання розмінних агрегатів); застосування варіатора; зміна частоти обертання робочого колеса насоса; обточування робочого колеса тощо.

При використанні дроселювання зменшується тиск, що створюється насосом, за допомогою штучного гідравлічного опору. На напірну (рис. 3, а) або всмоктувальну (рис. 3, б) сторону трубопроводу встановлюється засувка, яку частково закривають для регулювання подачі води. Даний метод є найбільш простим і поширеним, але в той же час найменш економічним, оскільки частина тиску, що створюється насосом, марно витрачається на подолання опору засувки і при цьому втрачається потужність.

Характеристики насоса  $H = f(Q)$ ,  $\eta = f(Q)$  і мережі  $H_m = f(Q)$  при дроселюванні показано на рис. 4, а. Робочій точці 1 відповідає подача насоса  $Q_1$ . При необхідності прикривають засувку на напірному патрубку насоса, зменшуючи його подачу. Характеристики мережі  $H_m = f(Q)$ ,  $H'_m = f(Q)$ ,  $H''_m = f(Q)$  відповідають різній мірі відкриття засувки. Різниця  $H_2 - H_2'$  є зайвим тиском, що гаситься за рахунок створення додаткового опору засувкою.

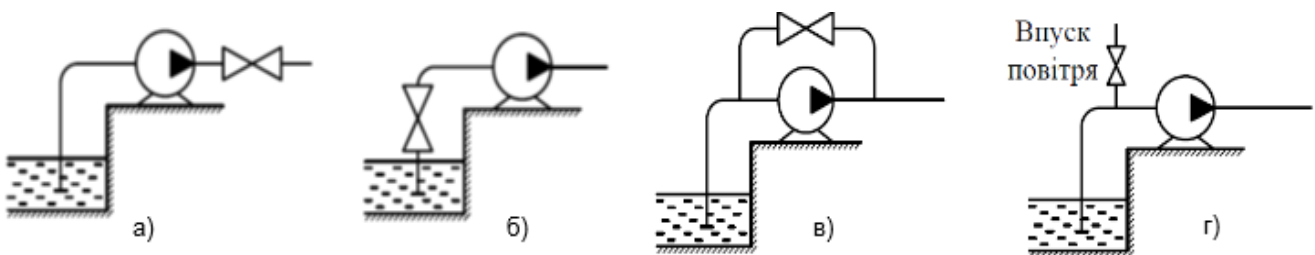


Рис. 3. Методи регулювання подачі насоса: а) і б) дроселювання відповідно на напірному і всмоктувальному трубопроводі; в) перепускання; г) впускання повітря

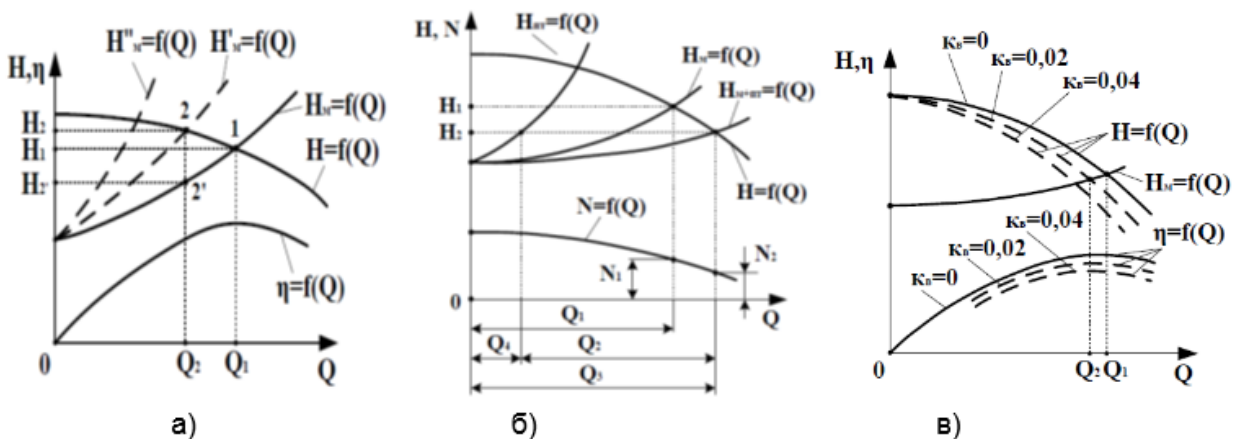


Рис. 4. Характеристики насоса і мережі при регулюванні методами: а) дроселювання; б) перепускання; в) впускання повітря

Регулювання за допомогою встановлення засувки на всмоктувальному трубопроводі є дещо економічно вигіднішим, ніж на напірному, але його вживання обмежене вимогою підтримки висоти всмоктування, менше граничних значень для забезпечення нормальної роботи насоса. Прикриття засувки на всмоктувальній трубі рівнозначно збільшенню висоти всмоктування, що при перевищенні певних меж викликає кавітацію і створює небезпеку зриву роботи насоса.

Дроселювання дозволяє простим методом здійснювати регулювання, однак він є неекономічним, що створює зайвий опір, сприяє спрацюванню як запірного пристрою, так і насосного агрегату.

При регулюванні подачі насоса шляхом перепускання (байпасування) частина рідини, що перекачується насосом, відводиться з напірного трубопроводу у всмоктувальний по перепускному трубопроводу (Рис. 3, в), за рахунок чого забезпечується необхідна витрата. Характеристики насоса  $H = f(Q)$  і  $N = f(Q)$ , мережі  $H_m = f(Q)$ , перепускного трубопроводу  $H_{пт} = f(Q)$ , сумарна характеристика мережі і перепускного трубопроводу  $H_{m+пт} = f(Q)$  представлено на рис. 4, б. Якщо потрібно зменшити подачу в систему з  $Q_1$  до  $Q_2$ , відкривають клапан на перепускному трубопроводі, сумарна характеристика мережі при цьому стане більш пологою і спільна подача насоса збільшиться до значення  $Q_3$ . При цьому по байпасній лінії циркулюватиме витрата  $Q_4$ , а в мережу поступатиме витрата  $Q_2$ . Тиск, що розвивається насосом, зменшиться з  $H_1$  до величини  $H_2$ , а потужність – з  $N_1$  до  $N_2$ .

Перевагами методу перепускання є економічність для насосного агрегату, споживана потужність знижується із збільшенням подачі, покращується кавітаційна властивість насоса, підвищується стійкість його роботи. До недоліків можна віднести те, що у відцентрових насосів регулювання перепусканням може викликати перевантаження електродвигуна, отже потребує додаткового циркуляційного трубопроводу та додаткової запірної арматури.

Метод впускання повітря у всмоктувальний патрубок насоса аналогічний методу регулювання засувкою на всмоктувальній трубі, оскільки впускання повітря зменшує вакуум, а, отже, і висоту всмоктування. Уведене у всмоктувальну трубу повітря (рис. 3, г) зменшує величину подачі води насосом на величину об'єму повітря. При потраплянні повітря в насос відбувається зсув вниз характеристики насоса  $H = f(Q)$  (рис. 4, в), тому можна підібрати режим роботи насоса, відповідний умовам подачі заданої витрати  $Q_2$ . При впусканні повітря ККД насосної установки знижується тим більше, чим більше повітря потрапляє в насос, тобто чим більше відношення об'єму повітря до об'єму води. При впусканні повітря у всмоктувальний трубопровід у разі невеликої зміни в подачі води цей метод є вигіднішим за дроселювання, однак при наявності повітря робота насоса стає нестійкою, існує загроза розриву водяного стовпа у всмоктувальній лінії.

Регулювання подачі можна здійснювати і шляхом зміни числа паралельно працюючих насосів. На насосних станціях, що працюють за ступінчастим графіком, встановлюється група насосних агрегатів з однаковими чи різними гідравлічними характеристиками. Необхідною умовою паралельної роботи насосів є рівність їх напорів. Таке регулювання може відбуватись за різними принципами в залежності від характеристик насосів (круті або пологі характеристики), наприклад, за тиском або витратами у напірній мережі. Враховуючи, що, як правило, застосовують насосні агрегати з пологою характеристикою, то переважно використовується метод регулювання за витратами (рис. 5). При збільшенні витрати до величини  $Q_1$  (точка 1) запускається другий насосний агрегат, при збільшенні витрати до  $Q_2$  (точка 2) – третій і так далі. Зупинка насосних агрегатів відбувається в зворотному порядку.

Для здійснення більш плавного регулювання один насос замінюється декількома, сумарна подача яких дорівнює подачі замінюваного насоса. Це дозволяє при незмінному загальному числі агрегатів значно підвищити плавність регулювання. Регулювання витрати здійснюють зміною не тільки числа, а і складу агрегатів.

Такий метод регулювання є найбільш поширеним, оскільки є простим та не вимагає спеціального устаткування, однак при роботі на безбаштову водопровідну мережу у години найменшого водоспоживання створюються надлишкові напори.

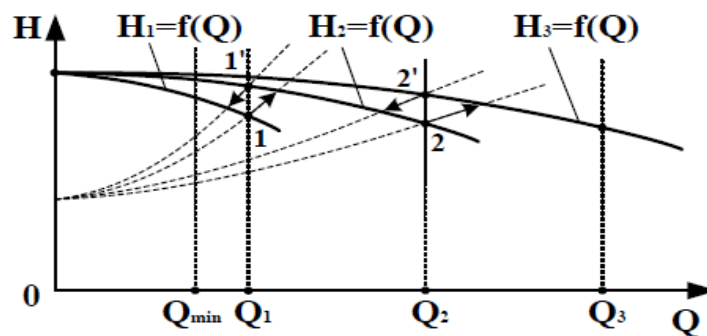


Рис. 5. Характеристики насоса і мережі при регулюванні зміною числа паралельно працюючих насосів

Варіатор – механічна передача, що дозволяє безступінчато змінювати частоту обертання валу приблизно в діапазоні 1:6. Передавальне відношення варіатора може змінюватися як вручну, так і автоматично за допомогою додаткового пневмо- або електроприводу. Останні два способи досить дорого коштують і нині рідко використовуються. При цьому необхідно відзначити, що власне електропривод продовжує працювати в постійному режимі, не забезпечуючи режим економії електроенергії залежно від фактичного водоспоживання.

Найбільш економічно вигідним є метод регулювання за допомогою зміни частоти обертання робочого колеса насоса. При визначенні числа регульованих насосів слід враховувати, що зменшення числа обертання одного з насосів може спричинити перевантаження нерегульованих насосів, вивести робочі точки нерегульованих насосів за межі робочої зони, зменшити ККД та при несприятливих умовах призвести до кавітації. В такому випадку регулювання електроприводу повинно здійснюватись на всіх насосах, а заміна частоти обертання насосів працюючих паралельно, повинна відбуватись одночасно, що досягається керуванням всіх насосів від загальної системи управління.

У випадках, коли на насосних станціях встановлено насоси з регульованим та нерегульованим електроприводом, при керуванні необхідно змінювати частоту обертання не лише регульованих насосних агрегатів, а й змінювати кількість працюючих нерегульованих агрегатів. При цьому включення чи виключення нерегульованих насосних агрегатів повинно відбуватись завчасно, до того, як подача регульованого насосного агрегату зменшиться до нульового значення, щоб виключити роботу насоса в зоні низьких ККД.

При незмінній характеристиці мережі  $H_m = f(Q)$  (рис. 6, а) подача насоса зменшиться з  $Q_1$  до  $Q_2$ , при цьому скорочуються непродуктивні втрати в системі. Використання перетворювачів частоти на насосних станціях дозволяє підвищити їх продуктивність без збільшення виробничих площ за рахунок збільшення одиничної потужності, зменшити кількість аварій на водопровідній мережі за рахунок зниження надлишкового тиску в ній, позбутись гідравлічних ударів за рахунок плавного пуску/стопу та отримати значний економічний ефект за рахунок зниження енергозатрат при подачі розрахункових витрат води.

При необхідності пристосовування характеристик насосів до конкретних умов використовують обточування робочого колеса (рис. 6, б), що змінює параметри насоса. Такий метод більш ефективний при рівномірній подачі води упродовж всього часу роботи насоса.

Таким чином, поліпшити роботу системи водопостачання, знизити надлишкові тиски у водопровідній мережі, зменшити непродуктивні витрати можна різними методами. При виборі необхідно керуватись техніко-економічними порівняннями можливих варіантів регулювання роботи насосних станцій з врахуванням особливих вимог експлуатації насосів у кожному окремому випадку.

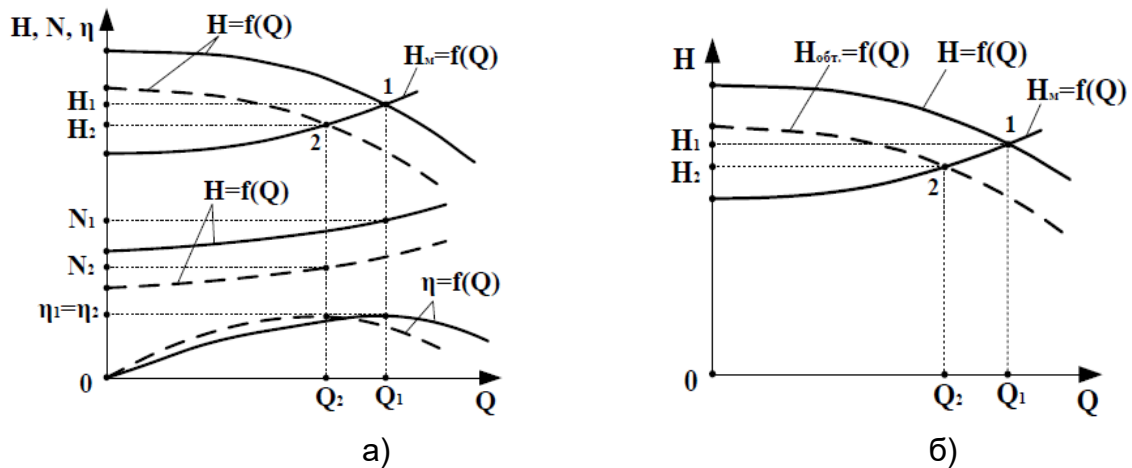


Рис. 6. Характеристики насоса і мережі при регулюванні методом:  
а) зміни частоти обертання робочого колеса; б) обточування робочого колеса

**Висновок.** Насосні станції, які живлять безбаштові водопровідні мережі, працюють у великому діапазоні змін водоспоживання, що призводить до виникнення надлишкових напорів в окремих ділянках мережі і, як наслідок, перевитрати електроенергії та непродуктивних витрат та витоків води. Поліпшити ситуацію дозволяє регулювання подачі, яке можна здійснювати якісними і кількісними методами. Найбільш ефективним з точки зору економічних показників, що дозволяє значно зменшити енергоспоживання в системі водопостачання, є зміна частоти обертання робочого колеса насоса при використанні частотно-регульованого приводу. Такий метод регулювання має й низку додаткових переваг: забезпечення плавних пусків; значне зменшення зносу устаткування; усунення гідравлічних ударів у системі; підтримання оптимальних параметрів у мережі; можливість застосування автоматизованих систем. Однак використання частотного регулювання насосів вимагає реконструкції водопровідних насосних станцій та суттєвих капітальних затрат, тому в кожному конкретному випадку вибір методу регулювання потрібно здійснювати шляхом техніко-економічного порівняння різних можливих варіантів з урахуванням особливих вимог експлуатації насосів.

### Список літератури

1. *Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2015 році* / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, Київ. 2016. 421с.
2. *Кривченко Г.И.* Гидравлические машины: турбины и насосы. 2-е изд. / Г.И. Кривченко. М.: Энергоатомиздат, 1983. 320 с.

Стаття надійшла до редакції 21.11.17