



дослідження математичної моделі перехідного процесу дає можливість визначення критеріїв для вибору регулятора.

Література

1. Русанов А.В. О критерии оптимально возможной работы системы автоматического регулирования и методе разработки оптимально возможных алгоритмов их работы. – К.: Энергетика и электрификация, 1996.
2. Меренков А.П. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения. – Новосибирск: Наука, 1992.
3. Рыбаков Р. Р. Автоматизация газифицированных агрегатов. – Л.: Недра, 1984.
4. Місєєв Р.В. Комплекс заходів для визначення резервів економії електричної енергії в промисловості. – М.: Промислова енергетика, 1992. - №11.
5. СНиП 3.05.07-85. Системы автоматизации.

УДК 792-50: 673

Ю.В. Білявський, аспірант КНУБА

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ РОЗРАХУНКУ ГІДРАВЛІЧНОГО УДАРУ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Явище гідравлічного удару незмінно привертало увагу вчених і інженерів у багатьох країнах в зв'язку з науковим і практичним аспектами. До початку шістдесятих років минулого сторіччя основні фізичні і гідродинамічні процеси, що протікають в елементах трубопровідних систем при гідравлічному ударі, були в основному вивчені. У той же час було встановлено, що в реальних (складних) гідросистемах специфіка перехідних процесів в основному обумовлюється багаторазовим накладенням відбитих від конструктивних неоднорідностей системи хвиль тиску і трансформацією цих хвиль при їхньому проходженні по довжині трубопроводів. В складних гідросистемах, як і в багатьох інших інженерних задачах, рішенню перешкоджає "проклин багатомірності", який погіршується не лінійністю процесів. На перехідні процеси впливають велика кількість факторів, наприклад, наявність у трубах розчиненого в рідині повітря, деформаційна піддатливість стінок труб і інші явища. Зокрема, було встановлено, що на характер нестационарних процесів у трубопровідних системах кардинальний вплив здійснюють кавітаційні розриви суцільності, які можуть виникати в будь-якій точці системи при падінні тиску там нижче величини тиску насичених парів рідини. Тому не дивно, що наприкінці шістдесятих років минулого століття система, що складається з двох труб різного діаметра, вважалася у фахівців "складною" і важкою для розрахунку.

Тому саме використання при розрахунках гідравлічного удару сучасних інформаційних технологій, тобто відмова від аналітичних і графічних методів на користь чисельних, дозволило зробити початок масового використання електронно-обчислювальних машин. Їхнє впровадження і масове використання дозволило проводити розрахунки практично без обмеження складності мереж.

Історія вивчення нестационарних гідродинамічних процесів, що включають, зокрема, гідравлічний удар, нараховує вже більше ста років і починається з вже класичної в даний час роботи М.Є.Жуковського [1]. Важливим внеском у методику розрахунку гідравлічного удару було створення "графічного" методу, викладеного найкраще в монографії Л. Бержерона [2]. Однак, навіть фахівцями в області гідравлічного удару,

розрахунки могли виконуватися лише для досить простих гідросистем, що складаються з однієї, двох труб, і без обліку нелінійних і кавітаційних процесів. Усе це не дозволяло гарантувати достатню, навіть для інженерних систем, точність розрахунку і можливість масового використання методу в повсякденній практиці.

Визначений підсумок виконаних у цьому напрямку робіт і досліджень був підведений у монографіях Streeter V.L. й Wylie E.B. [3] (США), Б.Ф. Лямаєва, Г.П. Небольсина і В.А. Нелюбова [4] (СРСР), опублікованих у шістдесятих - сімдесятих роках двадцятого століття. У цих роботах наведені методи і результати вирішення основних проблем при створенні комп'ютерних моделей для проведення чисельного експерименту по вивченні нестационарних процесів у реальних (складних) трубопровідних системах на ЕОМ. Це дозволило істотно підвищити точність і вірогідність розрахунків, у тому числі за рахунок залучення більше точних нелінійних моделей для опису поширення хвиль у трубах і поведінки конструктивних елементів системи, обліку кавітаційних явищ.

Основною ціллю даної статті є розгляд сучасних інформаційних технологій для розрахунку нестационарних гідродинамічних процесів у трубопровідних системах, а саме програмно-розрахункових комплексів для комп'ютерів на основі використання геоінформаційних технологій (ГІС). Це дозволяє вирішувати весь перелік задач, пов'язаних з розробкою, проектуванням і експлуатацією гідросистем різного призначення для конкретних умов.

Застосування геоінформаційних технологій для створення моделей водогінних мереж і, зокрема, дослідження нестационарних процесів дає істотну перевагу порівняно з використанням інших програмних продуктів, що не мають в своїй основі геоінформаційної системи. Ця перевага визначається наступним:

Можливістю використання графічної підоснови (карти міста, району, населеного пункту) для нанесення на неї водогінної мережі.

Простотою нанесення на карту міста схеми водогінної мережі з її прив'язкою до існуючих будинків і споруджень, наочністю представлення інформації, швидким введенням вихідних даних, необхідних для виконання розрахунків і зручністю аналізу отриманих результатів розрахунку.

Процес нанесення водогінної мережі на карту міста максимально автоматизований. Для цього досить за допомогою миші в графічному редакторі зобразити схему водогінної мережі. При цьому автоматично створюється топологічно зв'язний граф мережі з прив'язкою відповідних баз даних до кожного об'єкта.

Останнім часом у зв'язку з частими відключеннями електроенергії почастишали випадки виникнення гідроударів, тому більше гострої стає потреба в захисті від гідроудару. При виборі захисних пристроїв істотно може допомогти комп'ютерна програма, що дозволяє відразу оцінити ефективність запланованих заходів - програма, що виконує розрахунки гідравлічного удару, оформлена у вигляді модуля розширення (plugin) геоінформаційної системи.

Відомо, що перехідні процеси у водогінних мережах виникають найчастіше при включенні і вимиканні насосів, а також при відкритті і закритті засувки. Гідравлічний удар є наслідком швидкого виконання одного або декількох перерахованих дій і може збільшуватися за наявності повітряних порожнин у трубах. У програмі передбачена можливість вибору користувачем джерела збурювання стаціонарного процесу.

Відзначимо, що поряд із зонами підвищеного тиску визначену небезпеку представляють і зони зниженого тиску. У цьому випадку можливе підсмоктування забруднених ґрунтових вод у систему водопостачання, що може привести до виникнення епідемій, крім того, можуть проявлятися ефекти, пов'язані з кавітацією.

Зупинимось докладніше на основних моментах опису математичної моделі, використаної при розробці програми розрахунку гідравлічного удару.

Трубопровідна мережа (з математичної точки зору - зважений орієнтований граф) складається з ділянок (труб) і вузлів (з'єднання труб, споживач, повітряний ковпак,



резервуар і так далі). З математичної точки зору насос і засувка являють собою ділянки, хоча на схемі вони зображуються вузлами. Користувачеві про такі речі турбуватися не приходится - кодування мережі виконується програмою автоматично.

Поширення хвиль стискання і розрідження в трубах описується квазілінійною системою диференціальних рівнянь першого порядку з частними похідними

$$h_x + \frac{1}{g} v_t + \lambda \frac{v|v|}{2g} = 0;$$

$$h_t + \frac{c^2}{g} v_x = 0.$$

Тут $v(x,t)$ - швидкість, а $h(x,t)$ - п'єзометричний напір, нижній індекс означає частну похідну по відповідній змінній. Рішення цієї системи виконується чисельним методом характеристик:

$$\frac{g}{c_R} (h_P - h_R) + v_P - v_R + \frac{2f_R v_R |v_R|}{d} = 0;$$

$$-\frac{g}{c_S} (h_P - h_S) + v_P - v_S + \frac{2f_S v_S |v_S|}{d} = 0.$$

Тут використані, як і в монографії [5] наступні позначення: нижній індекс R або S означає, що відповідна фізична величина береться в попередньому шарі за часом або в крапці ліворуч, або праворуч від розрахункової крапки з індексом P , c - швидкість звуку, g - прискорення вільного падіння, d - діаметр труби, f - коефіцієнт гідравлічного опору.

Помітимо: швидкість поширення хвиль через наявність розчиненого повітря істотно залежить від тиску. Враховується також вплив на швидкість пружності стінок труби [5]

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad \frac{1}{E} = \frac{1-\beta}{K} + \frac{\beta}{P} + \frac{d}{\delta E_0}.$$

Тут β - частка (об'ємна) нерозчиненого повітря у воді, ρ - щільність суміші вода-повітря, E - модуль Юнга для суміші вода-повітря з виправленням на пружність труби, K - модуль пружності води при відсутності нерозчиненого повітря, d - діаметр труби, δ - товщина стінки труби, E_0 - модуль Юнга матеріалу труби.

Рівняння варто вирішувати при початкових умовах, одержуваних за допомогою стаціонарного гідравлічного розрахунку, і граничних умовах, обумовлених конструктивними елементами. Наприклад: споживач із заданою витратою описується граничною умовою виду $v(x_1, t) = v_1$, а резервуар (при досить великій поверхні) - умовою $h(x_2, t) = h_2$.

До більш складних граничних умов приводять: з'єднання декількох труб в одному вузлі, повітряний ковпак, насос, засувка, локальний опір, мембрана, що руйнується, споживач із заданим гідравлічним опором.

Наявність засувки приводить до граничних умов

$$v_1 = v_2, \quad h_2 - h_1 = \lambda(t) \frac{v_1^2}{2g}.$$

Тут $\lambda(t)$ - безрозмірний коефіцієнт опору засувки. Для кожного конкретного типу засувки коефіцієнт опору можна виразити через ступінь закриття засувки, а залежність останнього від часу задає користувач, наприклад, можна задати час початку закриття, тривалість процесу і призначити лінійну залежність ступеня закриття від часу.

Взаємодія насоса з потоком рідини описується рівнянням руху

$$I \frac{d\omega}{dt} = M_1 + M_2 + M_{fr},$$

де I - момент інерції насосного агрегату, ω - кутова швидкість обертання робочого колеса насоса, M_1 - обертаючий момент електродвигуна, $M_2 = \frac{GH}{\omega}$ - момент із яким рідина впливає на робоче колесо насоса, M_{fr} - момент сил тертя.

Найпростіша модель насоса описується в такий спосіб. Задається G-H характеристика насоса у вигляді параболи

$$h = A\omega^2 + B\omega G - CG^2.$$

Тоді граничні умови приймуть вигляд

$$G_1 = G_2;$$

$$h_2 - h_1 = A\omega^2 + B\omega G - CG^2.$$

Витрата G очевидним образом виражається через швидкість $G = \frac{\pi d^2 v}{4}$. При наявності зворотного клапана у випадку виникнення негативної витрати рідини через насос, спрацювання зворотного клапана приводить до граничної умови $G = 0$.

Відзначимо, що в програмі є довідники по засувках і насосам, що дозволяє користувачеві або вибрати пристрій з довідника або додати в список новий пристрій і ввести характеристику табличним способом.

Повітряний ковпак описується наступними граничними умовами

$$h_1 = h_2;$$

$$G_2 - G_1 = G_3.$$

Тут G_3 - витрата рідини, що втікає в повітряний ковпак, і він залежить від різниці тисків (і відповідно напорів) рідини в місці з'єднання ковпака з трубою і повітря всередині ковпака

$$h_1 - h_3 = s_3 G_3^2.$$

Тиск повітря всередині ковпака перебуває з рівняння стану газу (ізотерма, адіабата або політропа)

$$\frac{p_3}{p_3^0} = \left(\frac{V_3^0}{V_3} \right)^{\gamma}.$$

Тут p_3^0 і V_3^0 - тиск і обсяг повітря в початковий момент часу.

Нарешті, для відшукування обсягу V_3 маємо рівняння

$$\frac{dV_3}{dt} = G_3.$$

яке приходить вирішувати чисельно, оскільки залежність G_3 від часу не відома.

Складне з'єднання труб (з'єднання декількох труб в одному вузлі) приводить до граничних умов

$$G_1 + G_2 + \dots + G_m = 0;$$

$$h_1 = h_2 = \dots = h_m.$$

Наведемо приклад побудови графіків перехідних процесів для найпростішої мережі, що складається з резервуара, колодязя, засувки і споживача.

На рис. 1 зображені на верхньому графіку найбільший і найменший тиск у кожній точці вздовж труби за весь час чисельного експерименту. На середньому графіку зупинена в останній момент розрахунку хвиля, що біжить. На нижньому графіку показана зміна тиску залежно від часу в трьох обраних точках спостереження.

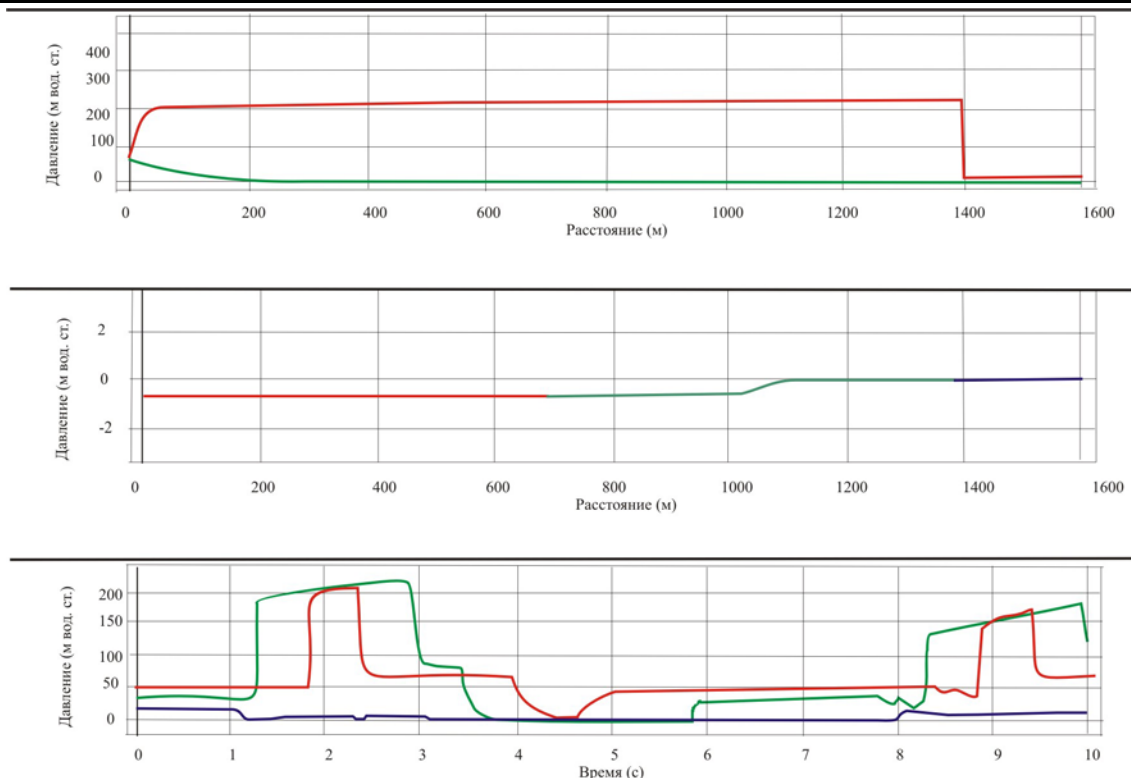


Рис. 1.

Висновки

Використання сучасних інформаційних технологій дає можливість для розрахунку перехідних процесів у трубопровідних системах будь-якої складності:

У процесі розрахунку користувач має можливість спостерігати в реальному часі поширення хвиль тиску, що біжать, і швидкості вздовж будь-якого маршруту.

За результатами розрахунку будуються графіки найбільшого і найменшого тисків в кожній крапці вздовж цього маршруту.

Приводяться графіки зміни тиску залежно від часу для ряду обраних крапок спостереження.

У бази даних заносяться значення найбільшого і найменшого тисків для кожної ділянки і вузла мережі з вказівкою часу виникнення цих тисків, а для ділянки вказуються і відповідні крапки.

Література

1. Жуковский Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. – М.-Л.: Гостехиздат, 1949. – 103 с.
2. Бергерон Л. От гидравлического удара в трубах до разряда в электрической сети. Общий графический метод расчета. Перевод с франц. – М.: Машгиз, 1962. – 348 с.
3. Streeter V.L., Wylie E.B. Hydraulic Transients. – New York, Mc Craw - Hill, 1967. – 317р.
4. Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. Методы расчета на ЭВМ. Под ред. Б.Ф. Лямаева. - Л.: Машиностроение, 1978. - 192 с.
5. Фокс Д.А. Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах. М., 1981. – 255 с.