УДК 622.794.2

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ПОСТІЙНИМ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ В ОБОЛОНЦІ LABVIEW

О. М. Терентьєв, докт. техн. наук, О. А. Можаровська, А. В. Ворфоломеєв, аспіранти (НТУУ «КПІ»)

Созданы модели процесса очистки воды постоянным аксиально-симметричным поперечным и продольным магнитными полями в оболочке LabVIEW. Путем проведения эксперимента найдены оптимальные технические параметры магнитных устройств очистки воды.

Ключевые слова: физические методы очистки воды, магнитная обработка, поперечное магнитное поле, магнитная ловушка, виртуальный прибор, компьютерная модель.

Створено моделі процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним та поздовжнім магнітними полями в оболонці LabVIEW. Шляхом проведення експерименту визначено оптимальні технічні параметри магнітних пристроїв очищення води.

Ключові слова: фізичні методи очищення води, магнітна обробка, поперечне магнітне поле, магнітна пастка, віртуальний прилад, комп'ютерна модель.

Models of water treatment by permanent axisymmetric transverse and longitudinal magnetic fields in the shell of LABVIEW are created. Optimal technical parameters of magnetic devices for water treatment have been defined by conducting experiment.

Key words: physical methods of water treatment, magnetic treatment, transverse magnetic field, magnetic trap, virtual device, computer model.

За даними [1] у 2008 році 1,5 мільйона українців споживали питну воду за тимчасовими дозволами; якість цієї питної води була нижчою за встановлені норми. У середньому по Україні відхилення від норми якості питної води за хімічним складом не перевищує 15…20 % [2]. У деяких населених пунктах, а також в окремих регіонах України відхилення якості води від норми становить 70…80 %; є такі населені пункти, які вживають питну воду, що на 100 % не відповідає вимогам до якості води за хімічним складом [2].

Прийнято загальнодержавну програму [3], відповідно до якої очищення води є пріоритетним напрямком наукової діяльності. Згідно з [4] очищення водного середовища відповідає таким стратегічним напрямкам інноваційної діяльності в Україні: новітні ресурсозберігаючі технології; енергоефективне, ресурсозберігаюче, модульне, екологічно безпечне обладнання та устаткування для здійснення процесів водопідготовки, очищення води, теплопостачання і засоби управління цими процесами.

Переваги магнітної обробки водного середовища описані в [5], а способи обробки рідини постійним аксіально-симетричним поперечним та поздовжнім магнітним полем – відповідно у [6] і [7]. Проведення експериментальних досліджень за зазначеними напрямками потребує значних матеріальних вкладень, наприклад, при дослідженні за допомогою багатофакторного повночинникового експерименту типу 3^3 необхідно провести 27 дослідів по 10 замірів в кожній точці (для достовірності 95 %), тобто 270 замірів якості води. В свою чергу кожен такий вимір потребує різних хімічних аналізів в залежності від речовин, концентрацію яких потрібно визначити. Доцільно провести також кілька паралельних досліджень. Тому перед експериментальним дослідженням для запобігання невиправданим витратам необхідно провести не тільки ретельне планування експерименту, а й проведення його на комп'ютерній моделі.

Метою дослідження є створення комп'ютерної моделі процесу очищення води постійним магнітним полем.

Для досягнення поставленої мети сформульовані ***завдання дослідження***:

створення моделі процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем;

створення моделі процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поздовжнім магнітним полем.

Програмна оболонка LabVIEW від National Instruments призначена для створення віртуальних приладів, які моделюють фізичні процеси, зміни в них, а також вимірюють параметри цих процесів. Для комп'ютерного моделювання процесу очищення води постійним магнітним полем обрано програмне забезпечення від National Instruments, а саме Labview 8.0.

1. Моделювання процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW

Вперше створено комп'ютерну модель експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW, яка дозволяє дослідити вплив витрати рідини, індукції та довжини магнітного поля на концентрацію заряджених частинок домішок води на виході магнітної системи. Функціональна та контрольні панелі моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW показані на рис. 1 і 2.

Очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем описане в [6]. Для зменшення навантаження на одну систему та забезпечення можливості ремонту використано дві магнітні системи, встановлені паралельно. Тоді витрата рідини у кожній з систем дорівнює половині загальної витрати рідини. Нижній рівень варіювання по витраті рідини прийнято таким, що дорівнює нормативному значенню витрати рідини відповідно до даних, наданих ДП «Кіровоградтепло» ТОВ «ЦНТІ УНГА» для впровадження системи в промислових умовах Південно-Західної котельні теплового промислового району м. Кіровоград: $Q_{min} = 0{,}5Q_н = 0{,}5 \cdot 33$ м^3/год $\approx 4{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^3/с. Верхній рівень вибрано у відповідності до пікової витрати рідини

Q_{max} = 0,5$Q_п$ = 0,5·100 м^3/год ≈ 13,8·10^{-3} м^3/с. Нульовий рівень варіювання вибрано з умови симетричності верхнього та нижнього рівнів відносно нульового: Q_0 = 0,5(Q_{max} + Q_{min}) = 0,5(13,8×10×3 + 4,6×10^{-3}) = 9,2·10^{-3} м^3/с. Для конструктивно заданої довжини поширення магнітного поля L_2 = 0,02 м необхідна достатня індукція магнітного поля для затримання іонів кальцію 0,378 Тл. Тому прийнято мінімальне значення індукції магнітного поля, Тл: B_{min} = 0,378 ≈ 0,4. Для постійних магнітів з NdFeB N 33 залишкова індукція B_r = 1,13 з урахуванням коефіцієнта використання магнітного потоку k = 0,953, максимальну індукцію магнітного поля прийнято, Тл: B_{max} = 1,0. Нульовий рівень варіювання обрано з умови симетричності верхнього та нижнього рівнів відносно нульового, Тл: B_0 = 0,5(B_{max} + B_{min}) = 0,5(1,0 + 0,4) = 0,7. Граничні значення довжини магнітів вибрано з урахуванням можливості варіювання на трьох рівнях, м: l_{min} = 0,02, l_0 = 2l_{min} = 2×0,02 = 0,04, l_{max} = 3l_{min} = 3×0,02 = 0,06.

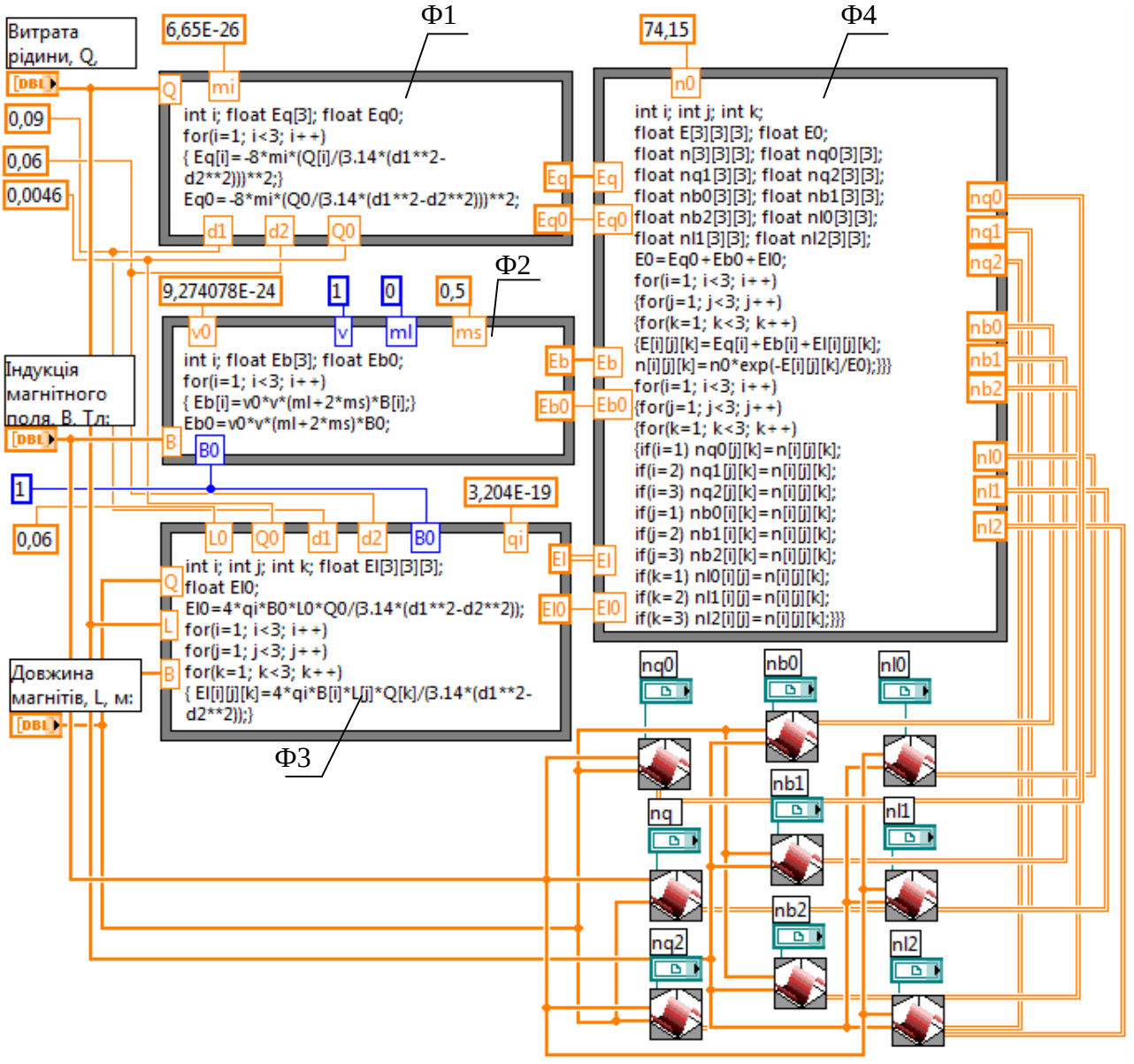

Рис. 1. Функціональна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW

Основним елементом моделі експериментальної установки (рис. 1) вибрано структуру „формульний вузол” (Formula Node), в якому в текстовому вигляді записано математичні вирази та оператори для виконання розрахунків концентрації домішок *n* у воді (рис. 1, Ф1–Ф4). Змінні параметри: витрата рідини *Q*, індукція магнітного поля *B* та довжина поширення магнітного поля *L* вводяться за допомогою використання терміналів вводу даних типу *DBL* (чисельний з плаваючою комою подвійної точності). Змінні параметри задаються масивом, що складається з трьох значень (нижній, нульовий та верхній рівні відповідно). Постійні величини, що використовуються при розрахунку концентрації домішок у воді, задані за допомогою локальної змінної (Local), яка використовується для передачі даних між елементами керування або індикаторами. У формульних вузлах виконуються почергові розрахунки складових енергії частинки в магнітному полі *Eq* (Ф1), *Eb* (Ф2), *El* (Ф3) у вигляді тривимірного масиву та постійних значень складових оптимальної енергії частинки в магнітному полі *Eq*0 (Ф1), *Eb*0 (Ф2), *El*0 (Ф3) відповідно до (3.40). Розрахунки масивів *Eq*, *Eb*, *El* виконано за допомогою операторів вузла *Формула* в циклі *for*. Масиви *Eq*, *Eb*, *El* та постійні значення *Eq*0, *Eb*0, *El*0 передаються до кінцевого вузла Ф4, де виконується розрахунок оптимальної енергії частинки в магнітному полі *E*0 та масивів: енергії частинки в магнітному полі *E* та концентрації домішок у воді *n* за допомогою циклу *for*. Далі виконується сортування масиву *n* у відповідності до постійного значення одного з параметрів *Q*, *B* або *L* за допомогою циклів *for*. Результатом вузла *Формула* є масиви значень концентрації домішок: *nq*0, *nq*1, *nq*2, *nb*0, *nb*1, *nb*2, *nl*0, *nl*1, *nl*2, які характеризуються постійним значенням одного з параметрів *Q*0, *Q*1, *Q*2, *B*0, *B*1, *B*2, *L*0, *L*1, *L*2, відповідно. На контрольну панель (рис. 2) виведено тривимірні залежності концентрації домішок у воді *nq*0, *nq*1, *nq*2, *nb0*, *nb1*, *nb2*, *nl0*, *nl1*, *nl2* від витрати рідини *Q*, індукції магнітного поля *B* та довжини поширення магнітного поля *L*. Для цього використано палітру *Графіки та звук* (Grafics & Sound).

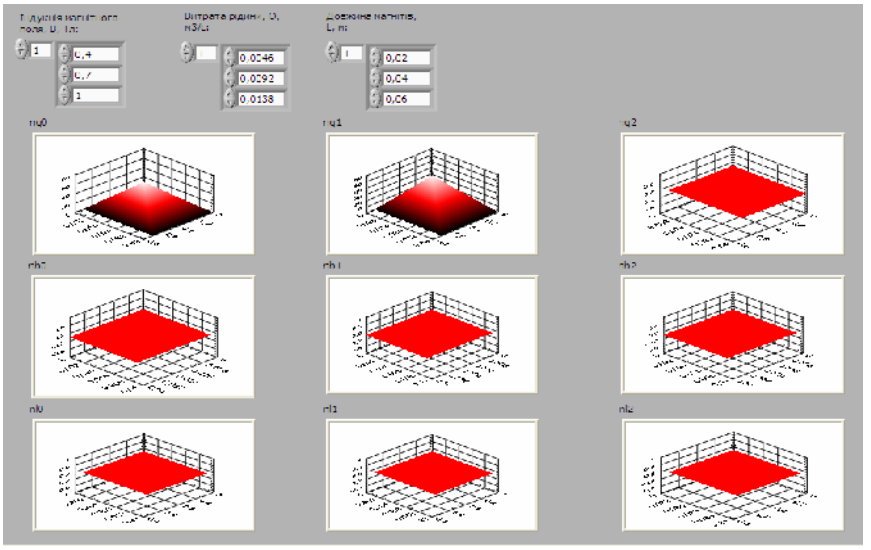

Рис. 2. Контрольна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW

В результаті моделювання експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем визначено оптимальні параметри МАКСі: витрата рідини – $4{,}6\cdot10^{-3}$ м^3/с, індукція магнітного поля – 1,0 Тл, довжина магнітного поля – 0,06 м.

2. Моделювання процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW

Очищення води постійним аксіально-симетричним поздовжнім магнітним полем описане в [7]. Подача уніфікованої насосної станції при роботі одного насосу змінюється від 0 до $6{,}67\cdot10^{-4}$ м^3/с. Тому нижнім рівнем варіювання подачі вибрано, м^3/с: $Q_{\min} = 6\cdot10^{-4}$ (90 % від максимальної подачі насосу). При роботі двох насосів подача станції досягає $1{,}334\cdot10^{-3}$ м^3/с. Таким чином, верхній рівень варіювання удвічі більший за нижній, м^3/с: $Q_{\max} = 12\cdot10^{-4}$. Нульовий рівень варіювання вибрано з умови симетричності верхнього та нижнього рівнів відносно нульового, м^3/с: $Q_0 = 0{,}5(Q_{\max}+Q_{\min}) = 0{,}5(12\cdot10^{-4}+6\cdot10^{-4}) \approx 9\cdot10^{-4}$. Максимальна робоча довжина пристрою магнітного очищення, задана конструктивно, дорівнює 0,4 м. Тому верхній рівень варіювання робочої довжини, м: $l_{\max} = 0{,}4$. При визначенні нижнього рівня враховано, що для утворення магнітної пастки необхідно щонайменше дві секції електромагніту. При довжині секції 0,04 м, враховуючи, що тільки половина першої секції входить в робочу зону, нижній рівень варіювання робочої довжини, м: $l_{\min} = 0{,}06$. Нульовий рівень вибрано як найближче число, що відповідає усередненому значенню між верхнім та нижнім рівнем з урахування ширини секцій. Таким чином, $l_0 = 0{,}22$ м. Верхнім рівнем варіювання кінцевої магнітної індукції, виходячи з умов нагріву пристрою, вибрано, Тл: $B_{\text{к}\max} = 0{,}14$. Нижнім рівнем варіювання кінцевої магнітної індукції, Тл: $B_{\text{к}\min} = 0{,}07$, що відповідає зменшенню струму в обмотках секційного електромагніту в 2 рази. Тоді з умов симетричності нульовий рівень, Тл: $B_{\text{к}0} = 0{,}105$.

Для моделювання процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поздовжнім магнітним полем в програмній оболонці LabVIEW було створено комп’ютерну модель експериментальної установки, яка дозволяє дослідити вплив витрати рідини, індукції магнітного поля та довжини магнітної пастки на концентрацію домішок у водному середовищі. Функціональна та контрольна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води постійним аксіально-симетричним поздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW показані на рис. 3 і 4. Наведена на рис. 3 функціональна панель відображає логічні зв’язки з урахуванням залежностей, описаних в [7], в умовах програмної оболонки LabVIEW. Вибрані чинники експерименту вводяться у форматі *DBL*, і через з’єднувальні лінії (Connection Wires*)* передаються у формульні вузли (Formula Node), в яких відбувається обчислення початкового «кута втрат», а також додаткових втрат, пов’язаних з неоптимальністю чинників експерименту. Через вузли простих математичних функцій (Addition, Division) відбувається розрахунок сумарного кута втрат, а з нього і ступеня очищення пристрою магнітної обробки. Похибка пристроїв

вимірювання моделюється інструментом випадковості (Rand). З отриманого ступеня очищення пристрою і заданої концентрації іонів домішок на вході в пристрій визначається параметр оптимізації експерименту – вихідна концентрація іонів домішок.

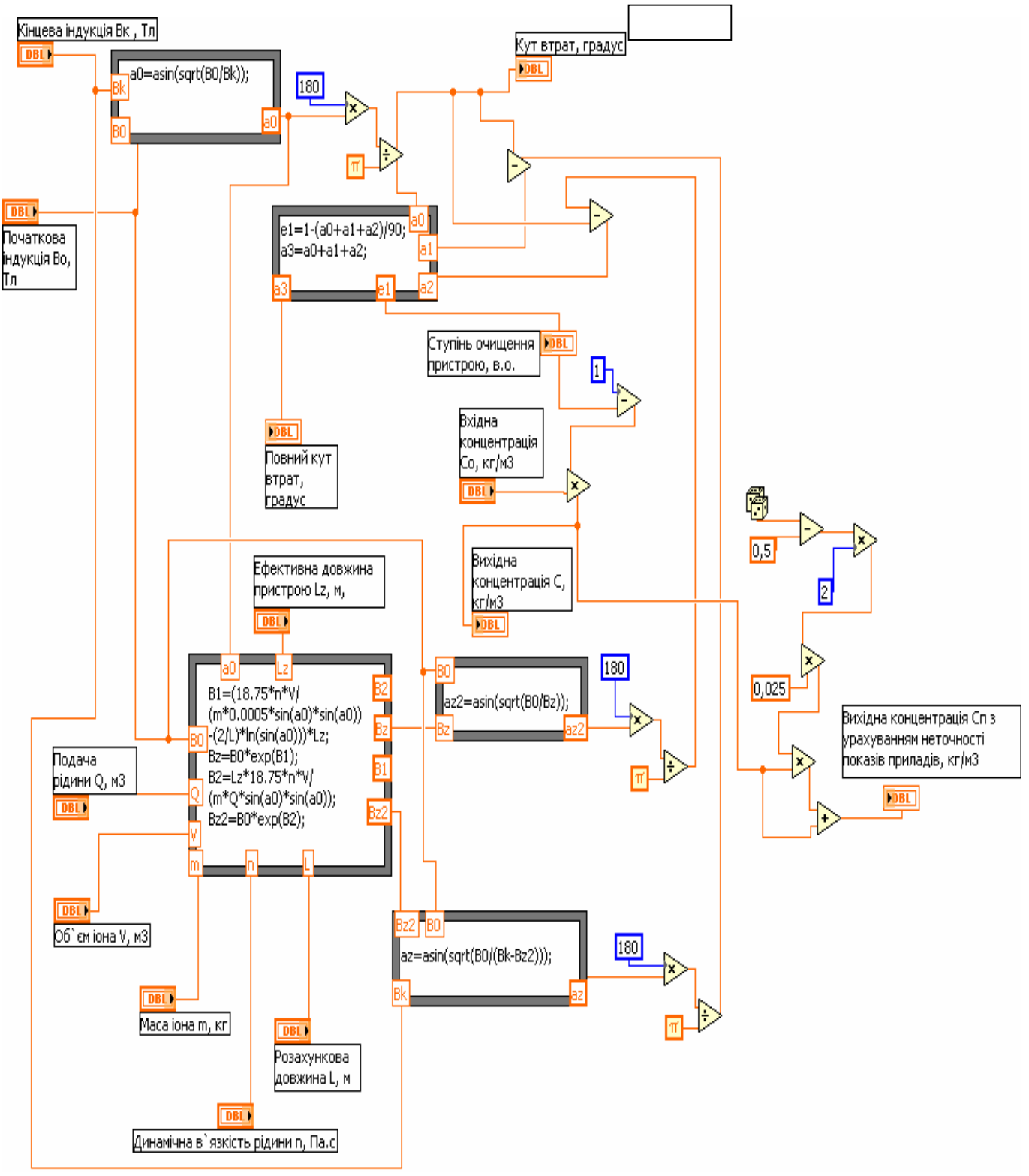

Рис. 3. Функціональна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води поздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW

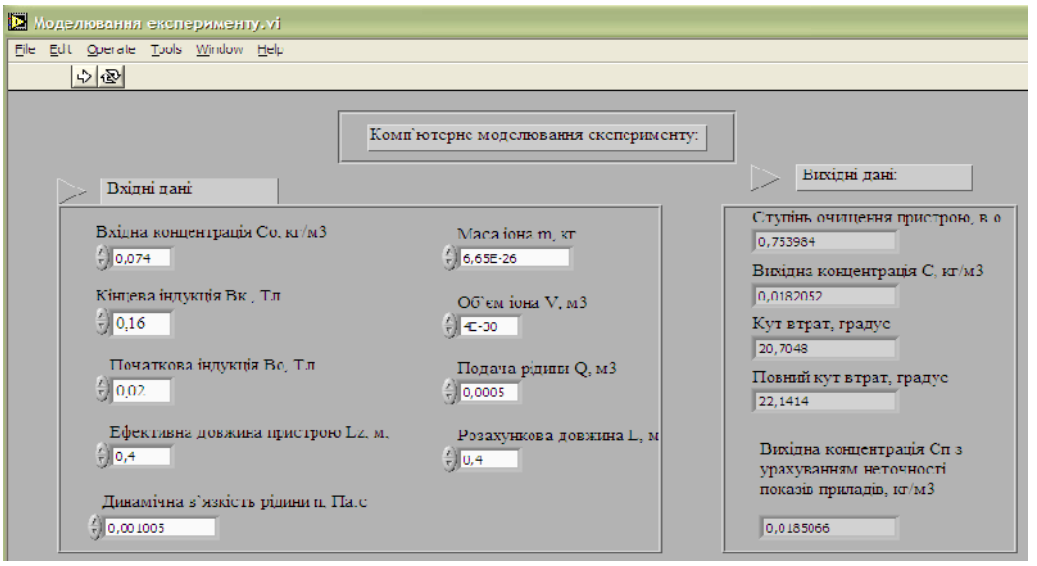

Рис. 4. Контрольна панель моделі експериментальної установки для дослідження очищення води поздовжнім магнітним полем в оболонці LabVIEW

Змінюючи значення на контрольній панелі (рис. 4), автори дослідили вплив головних чинників (подачі рідини, кінцевої індукції магнітного поля, робочої (ефективної) довжини магнітної пастки) на параметр оптимізації – концентрацію заряджених частинок домішок води. Модельні дослідження дозволили визначити оптимальний режим роботи магнітного уловлювача: витрата рідини – $5 \cdot 10^{-4}$ м^3/с, робоча довжина пристрою 0,4 м і кінцева індукція 0,14 Тл.

Висновки

Створено комп'ютерну модель експериментальної для дослідження процесу очищення води постійним аксіально-симетричним поперечним магнітним полем в оболонці LabVIEW, яка дозволяє оцінити вплив витрати рідини, індукції та робочої довжини магнітної пастки на концентрацію заряджених частинок домішок.

2. В результаті моделювання визначено, що оптимальними параметрами магнітно-аксиальної системи очищення води є: витрата рідини – $4{,}6 \cdot 10^{-3}$ м^3/с, індукція магнітного поля – 1,0 Тл, довжина магнітного поля – 0,06 м.

3. Вперше встановлено, що технологічний режим роботи магнітної пастки іонів домішок забезпечується при витраті рідини $5 \cdot 10^{-4}$ м^3/с, робочій довжині магнітної системи 0,4 м і кінцевій магнітній індукції 0,14 Тл. При цьому ступінь очищення води становить 0,75.

В подальших дослідженнях потрібно приділити увагу візуалізації моделювання процесу видалення домішок з водного середовища під дією магнітного поля.

1. *Кучеренко О. Ю.* Питна вода має стати національним пріоритетом // Міжнар. наук.-практ. конф. «Якість питної води: нові підходи та шляхи вирішення», м. Київ, 25 вересня 2008 р.

2. *Дронова Н.* Питна вода як фактор ризику [Текст] / Н. Дронова // Kyiv Weekly. – 2006. – № 44 (229). – С. 5.

3. *Україна. Закон*. Про Загальнодержавну програму «Питна вода України на 2006–2020 роки» [Текст]: [прийнятий Верховною Радою 3 березня 2005 р.] // Голос України. – 2005. – № 69 (15 квітня). – С. 10–12.

4. *Україна. Закон.* «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні на 2003–2013 роки» [Текст]: [прийнятий Верховною Радою 16 січня 2003 р.] // Вісник Верховної Ради. – 2003. – № 13. – С. 93.

5. *Терентьєв О. М.* Способи і засоби обробки робочої рідини гідросистем гірничих машин [Текст] / О. М. Терентьєв, О. А. Можаровська, А. В. Ворфоломеєв // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2008. – № 16 – С. 73–79.

6. *Можаровська О. А.* Керування станом рідинних середовищ для підвищення якості функціонування гірничого обладнання / О. А. Можаровська // Науково-технічна конф. «Енергетика. Екологія. Людина». – НТУУ «КПІ», Зб. наук. праць. – К.: 2009. – С. 185–188.

7. *Терентьєв О. М.* Визначення розподілу магнітної індукції «магнітної пастки» для затримання іонів домішок рідини в напірному трубопроводі та його практична реалізація [Текст] / О. М. Терентьєв, О. А. Можаровська, А. В. Ворфоломеєв // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 1. – С. 121–127.