

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

На правах рукопису

РУБЛЬОВ АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ

УДК 624.21.09

РОЗРАХУНОК ВТОРИННИХ ТЕЧІЙ ПОПЕРЕЧНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ БІЛЯ
ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД У РУСЛАХ

Спеціальність 05.14.07 - Механіка рідини, газу та плазми

А в т о р е ф е р а т

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук



Київ 1997р.



00753612 (0)

Робота виконана на кафедрі мостів та тунелів Українського транспортного університету, м.Київ.

Наукові керівники: заслужений діяч науки та техніки України,
доктор технічних наук, професор
Большаков В.О.;
доктор технічних наук, професор
Савенко В.Я.;

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Криль С.І.;
кандидат технічних наук, доцент
Парахнюк Ю.В.;

Провідна організація: Науково дослідний інститут автоматизо-
ваних систем керування будівництвом
Держбуду України, м.Київ.

Захист дисертації відбудеться 23 червня 1997р. о 15 годині
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 01.02.13 у Національному технічному
університеті України "Київський Політехнічний інститут", за адресою 252056,
м.Київ, пр.Перемоги, 37 корпус 5, ауд.406.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного
університету України "Київський Політехнічний інститут"

Автореферат розісланий " 22 " травня 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради

 В.І.Коншин

АВ 37.971

АНОТАЦІЯ

В дисертаційній роботі запропоновано математичний опис механізму вторинних течій поперечної циркуляції, з застосуванням двопараметричної К- ϵ моделі турбулентності, у якості замикаючої, що дозволило розробити математичну модель цих течій. Запропонований метод розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції, а також розроблена математична модель двомірної відривної течії рідини з урахуванням ефекту вторинних течій поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень і метод її реалізації. Проведені експериментальні дослідження планової течії, швидкості вторинних течій поперечної циркуляції на нероззв'язній моделі штучно стиснутих русел дали можливість провести співставлювальну оцінку запропонованих математичних моделей та методів їх реалізації, з результатами експериментальних даних, що у кінцевому підсумку дозволило запропонувати метод гідравлічного розрахунку штучно стиснутих русел з врахуванням ефекту поперечної циркуляції.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При протіканні потоку у штучно стиснутих руслах виникають значні рециркуляційні зони, які зумовлюють різке скривлення потоку у плані, що обумовлює виникнення вторинних течій поперечної циркуляції. Ці течії надають істотний вплив на формування динамічної структури потоку, транспорт наносів та як наслідок, на деформативну здатність потоку (рис.1). Деформація русел, у своїй більшості, є однією з найважливіших причин, обумовлюючих стійкість та надійність різних споруд, які споруджуються у ріках.

Існуючі на теперішній час методи розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції не дозволяють безпосередньо вирішувати задачі наростання, затухання та накладення поперечної циркуляції у руслах значної кривизни. Відсутність універсального підходу до урахування впливу ефекту цих течій на двомірну

Львівська
Д-р. В. С. Степанюк
Україна

динамічну структуру й зумовила вибір для розв'язання реалізації наукової задачі, яка розглядається, що свідчить про актуальність даної роботи.

Мета роботи. Метою цієї роботи є розробка методу розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції та дослідження впливу цих течій на динамічну структуру двовірних потоків.

Для реалізації поставленої мети, у роботі пропонується вирішити такі основні задачі:

- розробка математичної моделі вторинних течій поперечної циркуляції з використанням у якості моделі, що замикає турбулентність - двопараметричної трьохмірної $k-\epsilon$ моделі;
- розробка методів розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції у штучно стиснутих руслах;
- розробка методів розрахунку планових відривних нестационарних течій з урахуванням ефекту вторинних течій поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень;
- проведення експериментальних досліджень по вивченню вторинних течій поперечної циркуляції та планового руху, на нерозривній моделі штучно стиснутих русел, з метою апробації розроблених математичних моделей та методів їх реалізації.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження механізму вторинних течій поперечної циркуляції та їх впливу на динамічну структуру двовірного потоку здійснювалися за допомогою розробки математичних моделей та методів їх реалізації на основі сучасних моделей течії рідини, турбулентності та розрахункових методів розв'язання нелінійних задач газогідродинаміки.

Широкі експериментальні дослідження динамічної структури трьохмірного потоку на нерозривній моделі штучно стиснутих русел проводились на русловому майданчику УкрНДІГІМ за допомогою вимірювально-розрахункового комплексу ІОК на базі мікровертушки та EOM CM 1420.

Обробка та узагальнення отриманих результатів фізичного експерименту здійснювалась за допомогою ПЕОМ та графобудівника, на основі розробленого комплексу відповідних програм на ПЕОМ.

Отримані результати експериментальних досліджень є основою для апробації запропонованих математичних моделей та методів їх реалізації.

Наукова новизна. Запропоновані математичні моделі вторинних течій поперечної циркуляції, двомірних відривних течій, які враховують ефект поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень та метод їх реалізації дозволяє вирішувати задачі розрахунку поперечної циркуляції у руслах знакозмінної кривизни та оцінювати їх висок на формування динамічної структури двомірних потоків.

Практична цінність. Запропоновані методи розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції та відривних двомірних потоків можуть бути використані проєктними організаціями під час проєктування мостових переходів та інших типів гідротехнічних споруд, які споруджуються у річках. Розроблений метод гідравлічного розрахунку штучно стиснутих русел дозволяє більш точно та обґрунтовано підходити до питання призначення генеральних розмірів різних типів гідротехнічних споруд, глибин фундирування опор, зміцнення різних елементів цих споруд, що забезпечує значне зниження будівельних та експлуатаційних витрат при реалізації проєктів цих споруд. Складені програми розрахунку на ПЕОМ дозволяють автоматизувати етап гідравлічного розрахунку при проведенні проєктних робіт.

Реалізація результатів. У межах цього дослідження розроблені інженерні рекомендації з гідравлічних розрахунків штучно стиснутих русел, а також програми для їх реалізації ПЕОМ. Отримані результати дозволяють підвищити якість та обґрунтованість проєктних рішень, що приймаються, скоротити строки реалізації проєктів.

Результати дослідження використовувались при проєктуванні мостового переходу через річку Західний Буг під час будівництва міжнародної автомагістралі Любомль-Хелм, у районі м. Ягодин; у 1996 році.

Апробація роботи. Основні результати досліджень автора, доповідались на: Міжнародній конференції "Чисельні методи у гідравліці та гідромеханіці" м.Маріупіль у 1994 році; науковій конференції, яка присвячена 50-річчю КАДІ "Шляхи підвищення ефективності дорожнього господарства України у нових умовах господарювання" м.Київ, 1995 р.; Білоруському конгресі з теоретичної та прикладної механіки "Механіка-95" м.Мінськ, 1995 р.; Науково-технічній конференції "Гідромеханіка у інженерній практиці" м.Київ, 1996 р.; засіданні Українського наукового семінару з гідравліки відкритих русел та споруд при Українському транспортному університеті, лютий 1996 р.; щорічних конференціях професорсько-викладацького складу Українського транспортного університету 1994-1996 рр.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 4 наукових роботи.

Автори захищає:

- запропоновану математичну модель, що описує вторинні течії поперечної циркуляції, з застосуванням у якості моделі, що замикає трьохмірну К-ε модель турбулентності;
- метод розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції;
- метод розв'язання планової задачі з урахуванням ефекту вторинних течій поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень;
- нові експериментальні дані по вторинних течіях поперечної циркуляції, та двомірним відривним течіям у зоні впливу штучно стиснутих русел.

Обсяг та структура роботи. Дисертація складається з вступу, чотирьох глав, заключення, списку літератури та додатку. Викладена на _____сторінках машинописного тексту, вміщує _____таблиці та додаток. Список літератури містить 112 найменувань.

У вступі обґрунтована актуальність теми досліджень, сформульована сутність та загальний напрямок роботи.

В першій главі проведено огляд літературних джерел про рух відкритих потоків рідини на закругленні та у штучно стиснутих руслах, проаналізовані шляхи

розв'язань розробленої теми на сучасному етапі, сформульована мета дослідження, а також задачі необхідні для її реалізації.

У другій главі обґрунтовано вибір вихідних рівнянь для розв'язання задач, які були поставлені, та математичний опис механізму вторинних течій поперечної циркуляції, розроблена математична модель квазитрьохмірної течії рідини з урахуванням К-Є моделі турбулентності, запропоновано замикання рівнянь планової задачі та вторинних течій поперечної циркуляції на основі сучасних моделей турбулентності.

У третій главі розроблені методи розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції та планової задачі з урахуванням ефекту поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень, запропоновано метод реалізації дво та трьохмірної К-Є моделі турбулентності з формуванням початкових та граничних умов.

У четвертій главі описані експериментальні дослідження вторинних течій поперечної циркуляції, планового руху відривних течій. Проведена співставлювальна оцінка експериментальних та теоретичних досліджень.

У додатку приведені результати теоретичних розрахунків вторинних течій поперечної циркуляції.

ЗМІСТ РОБОТИ

Дослідження таких вчених як: А.Я.Милович, Де Бренд, А.С.Бернадський, А.К.Ананян, Дж.Кеннеді, І.І.Кірієнко, А.С.Климук, С.А.Мокмора, І.Мурамото, А.Шукрі, А.В.Караушев, М.В.Потапов, И.Л.Розовський, М.Фальконі, В.М.Маккавеев, І.А.Шеренков, В.Я.Савенко та багатьма іншими, підтверджують необхідність подальших наукових розробок у питаннях вивчення вторинних течій поперечної циркуляції та їх впливу на динамічну структуру потоку, та як наслідок на гідротехнічні об'єкти, які споруджуються у річкових руслах.

Виникаючі деформації русла, берегів, стінок споруд, опор та мостових дамб є найсерйознішою проблемою проектування різного роду гідротехнічних споруд. Ці

деформації, взагалі обумовлені наявністю у потоці вторинних течій поперечної циркуляції, які надають істотний вплив на формування динамічної структури потоку, та як наслідок, на транспорт наносів у річкових руслах і ці обставини й підтверджують наукове та практичне значення представлених дисертаційних досліджень.

Під час проектування різного роду гідротехнічних споруд основними факторами, що визначають їх вартість, є правильно та обґрунтовано обрані генеральні розміри, які визначаються у результаті проведених гідравлічних та руслових розрахунків. У роботі, що пропонується, розглядається клас задач, які характерні для турбулентного режиму руху рідини. Одним з найбільш перспективних шляхів розв'язання цих задач є використання, у якості вихідних, диференціальних рівнянь трьохмірного осередненого турбулентного руху, отримані О.Рейнольдсом, які у векторній формі мають вигляд:

$$\rho \frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \rho \operatorname{div}(\bar{V}\bar{V}) = -\operatorname{grad} P + \mu \nabla^2 \bar{V} + \operatorname{div} \Pi + \frac{1}{\rho} X_i \quad (1)$$

$$\operatorname{div} \bar{V} = 0 \quad (2)$$

Штучне стиснення потоку призводить до виникнення у річкових руслах водоворотних зон, та відривних течій, які зумовлюють наявність вторинних течій поперечної циркуляції, роль яких у формуванні швидкісної структури потоку та транспорту наносів вельми важливо.

Урахування вторинних течій поперечної циркуляції в значеннях швидкостей \bar{V}_1, \bar{V}_2 -та \bar{V}_3 , відповідно горизонтальної та вертикальної складових осередненої швидкості, можуть бути запропоновані у вигляді:

$$\bar{V}_1 = \varphi_1 U, \quad \bar{V}_2 = \varphi_2 U_2 + u_2, \quad \bar{V}_3 = u_3 \quad (3)$$

де φ - закон розподілу поздовжньої та поперечної складових швидкостей. Враховуючи гіпотезу Буссінеска, що пов'язує напруження О.Рейнольдса з градієнтами швидкостей осереднених течій:

$$-\overline{V_i V_j} = \nu_t \left[\frac{\partial \overline{V}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{V}_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} K \delta_{ij} \quad (4)$$

одержуємо з рівнянь осередненого трьохмірного руху О.Рейнольдса математичну модель механізму вторинних течій поперечної циркуляції, яка має вигляд:

$$\begin{aligned} \varphi^2 \left[U_1 \frac{\partial U_2}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \varphi \left[U_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + U_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right] \right] = \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left\{ \nu_t \left(\varphi \left[\frac{\partial U_1}{\partial x_2} + \frac{\partial U_2}{\partial x_1} \right] + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right) \right\} + 2 \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\nu_t \left[\varphi \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right] \right] \\ + \frac{\partial}{\partial x_3} \left[\nu_t \left[\varphi \frac{\partial U_2}{\partial x_3} + \frac{\partial u_2}{\partial x_3} \right] \right] \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi \left[U_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right] = -g \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_3} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\nu_t \left[\varphi \frac{\partial U_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_1} \right] \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\nu_t \left[\varphi \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_2} \right] \right] + 2 \frac{\partial}{\partial x_3} \left(\nu_t \frac{\partial u_3}{\partial x_3} \right) \quad (6) \end{aligned}$$

$$\varphi \frac{\partial U_1}{\partial x_2} + \varphi \frac{\partial U_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} = 0 \quad (7)$$

В отриманій системі рівнянь невідомими є u_2 , u_3 , $P(H)$. Для реалізації даної системи необхідно заздалегідь знайти розподіл по глибині горизонтальних складових вектору швидкості U_1 та U_2 , а також відміток вільної поверхні P . Ця задача вирішується шляхом реалізації рівнянь планової задачі, без урахування

вторинних течій поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень на основі методу розщеплення диференціальних рівнянь за просторовими змінними та часом, з використанням модифікованої системи Мак-Кормака, яка запропонована В.Я.Савенко.

Великий внесок у розв'язання проблеми замикання системи рівнянь турбулентного руху внесли: Б.І.Давидов, А.С.Монін, Л.Прандтль, Л.Г.Лойцянский, Ю.Ротта, М.Д.Міліонщиков, Г.С.Глушков, В.Г.Невзглядов, А.Н.Колмогоров, Б.А.Коловандін, А.Н.Секундов, К.Е.Джаушугін, Н.Д.Булеев, К.Ханжалік, Б.Лаундер, Д.Сполдінг, К.Дональдсон, П.Самвел, Е.В.Бруцяцький, А.П.Нетюхайло, та багато інших.

Рівняння (4) не вводить моделі турбулентності, а визначає її структуру, основною задачею якої є знайдення функції V_i . При розрахунках відривних течій з урахуванням вторинних течій поперечної циркуляції необхідно застосовувати моделі турбулентності, які враховують пульсаційну структуру турбулентного потоку. Однією з таких моделей є К-ε модель, яка заснована на концепції турбулентної в'язкості. К-ε модель турбулентності найбільш часто застосовується, у останні часи, багатьма вченими та як наслідок, ця модель є найбільш апробована, і вона дає можливість врахувати зміну коефіцієнта турбулентної в'язкості у області розв'язання задачі, що дозволяє вести розрахунок відривних течій, для яких головним фактором є турбулентні напруження на границі транзитного струменя та рециркуляційних зон, до того ж, у теперішній час вона є найбільш розроблена у теоретичному та прикладному аспектах, а результати її застосування до розрахунків різних течій дають досить добрі результати. Враховуючи модельні співвідношення для дифузійних та дисипативних членів рівняння моделі мають вигляд:

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial K}{\partial x_j} = v_i \left[\frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial V_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial V_i}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v_i \frac{\partial V_i}{\partial x_j} \right] - \varepsilon \quad (8)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v_i \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \left[C_1 \frac{P}{\varepsilon} - C_2 \right] \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (9)$$

Реалізація рівнянь математичної моделі (5-9) здійснюється методом встановлення, ідея якого полягає у тому, що задають початкові та граничні умови та вирішують поставлену нестационарну задачу до тих пір, доки результати розв'язання не перестануть змінюватися. Відповідні перетворення координат дозволяють звести розв'язок рівнянь у галузі постійної ширини, що істотно спрощує процес реалізації даної моделі. Проінтегрувавши по глибині потоку рівняння руху О. Рейнольдса для поздовжнього та поперечних напрямків координат тобто $i=1,2$, а також враховуючи те, що значенням вертикальної складової швидкості поперечної циркуляції u_3 можна нехтувати, тому що при інтегруванні вихідної системи рівнянь по глибині потоку, складові, що містять u_3 перетворюються у нуль, одержані рівняння планової задачі у декартовій системі координат з урахуванням ефекту вторинних течій поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень:

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} + \alpha_h \left[\frac{\partial U_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_2} \right] + \frac{\partial}{\partial x_2} \langle \bar{V}_1 u_k \rangle = -g \frac{\partial H}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\langle \bar{V}_1^2 \rangle - \langle \bar{V}_3^2 \rangle \right] - \frac{\partial}{\partial x_2} \langle \bar{V}_1 \bar{V}_2 \rangle + \frac{1}{\rho h} \left[\tau_{1H} - \tau_{1z_0} \right] \quad (10)$$

$$\frac{\partial U_2}{\partial t} + \alpha_h \left[\frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2^2}{\partial x_2} \right] + \frac{\partial}{\partial x_2} \langle \bar{V}_1 u_k \rangle + \frac{\partial}{\partial x_2} \langle u_k^2 \rangle = -g \frac{\partial H}{\partial x_2} - \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\langle \bar{V}_2^2 \rangle - \langle \bar{V}_3^2 \rangle \right] - \frac{\partial}{\partial x_1} \langle \bar{V}_1 \bar{V}_2 \rangle + \frac{1}{\rho h} \left[\tau_{2H} - \tau_{2z_0} \right] \quad (11)$$

Дана система є незамкненою, та для її замикання необхідно застосувати двомірну К-ε модель турбулентності, що враховує значення турбулентної в'язкості, яка осереднена по глибині. В. Роді прийняв допущення про те, що осереднений за значенням коефіцієнт турбулентної в'язкості можна виразити через значення осереднених по глибині кінетичної енергії турбулентності К та швидкість її дисипації ε, за допомогою співвідношення:

$$v_i = C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (12)$$

Зміна осереднених по глибині значень K та ε визначається з таких рівнянь:

$$U_1 \frac{\partial K}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial K}{\partial x_2} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{v_i}{\sigma_k} \frac{\partial K}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{v_i}{\sigma_k} \frac{\partial K}{\partial x_2} \right) + P_h + P_{kv} - \varepsilon \quad (13)$$

$$U_1 \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_2} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{v_i}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_1} \right) + \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{v_i}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_2} \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_h + P_{\varepsilon v} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (14)$$

З метою апробації запропонованих методів розрахунку вторинних течій поперечної циркуляції, відривних двовірних течій з урахуванням ефекту поперечної циркуляції були виконані експериментальні дослідження на нерозмивній моделі на русловому майданчику УкрНДІГіМа. Виходячи з поставленої мети, безпосередніми задачами експериментальних досліджень були:

- вивчення полів осереднених швидкостей та режиму рівня (плану течій) у зоні впливу споруджень мостового переходу;
- визначення розмірів рециркуляційних зон у нижньому та верхньому б'єфах мостових переходів;
- вивчення закономірностей розподілу вторинних течій поперечної циркуляції по довжині та ширині потоку при змінному модулі та знаку кривини струменя;
- зіставлення результатів теоретичних та експериментальних даних.

Для проведення досліджень були побудовані нерозмивні фізичні моделі мостового переходу з різними типами струмененапрямних дамб, на основі загальної теорії моделювання гідравлічних явищ.

Моделювання здійснювалось з спотворюванням вертикального масштабу. Прийнятій ступінь спотворення, дорівнює $\varphi=2.5$, що вкладається у рекомендований діапазон ступеню спотворення.

Для перерахунку основних характеристик модельного потоку у натуру застосовуються формули, витікаючи з закону гравітаційної подібності.

Поперечний перетин лотка мав форму прямокутника з поглибленою трапецеїдальною русловою частиною. Дослідження провадилися при числах Фруда

від 0.0079 до 0.091, що відповідає різам річки. Числа Рейнольдса змінювались від 13000 до 89000, що відповідало умові автономності.

Для апробації методів розрахунку відривних течій, що неустановились, був змодульован однопіковий гідрограф повеня для річкових річок, у випадку відсутності спостережень за ними.

У дисертаційній роботі вироблена оцінка точності виконаних вимірювань, на основі методів, запропонованих Г.В.Железняковим, Б.Б.Данилевичем та А.Н.Зальцем. Відносна помилка вимірювань величин не перевищує 3.5%.

Для чисельної обробки результатів експериментальних досліджень був розроблений пакет програм, який дозволяє максимально розширити обсяг експериментальної інформації, яка одержується. Графічна обробка результатів експерименту проводилася за допомогою графобудівника SM 7300 у комплексі з ЕОМ SM 1420. Автором було розроблено три пакети програм для побудови епюр, профілів та графіків змінени характеристик потоку на довжині, ширині та його глибині.

Програмне забезпечення реалізації, що моделює системи, розроблені у межах представленої роботи, складається з комплексу програм, що включає у себе вісім функціонально незалежних, але новістю узгоджених між собою за структурою блоків, вхідних та вихідних файлів. У роботі проведено співставлення результатів розрахунків вторинних течій поперечної циркуляції та планових нестационарних відривних течій з урахуванням ефекту поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень. Представлені у роботі результати показують задовільне співпадіння розрахункових та експериментальних даних.

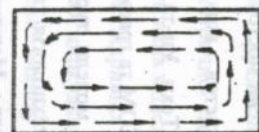
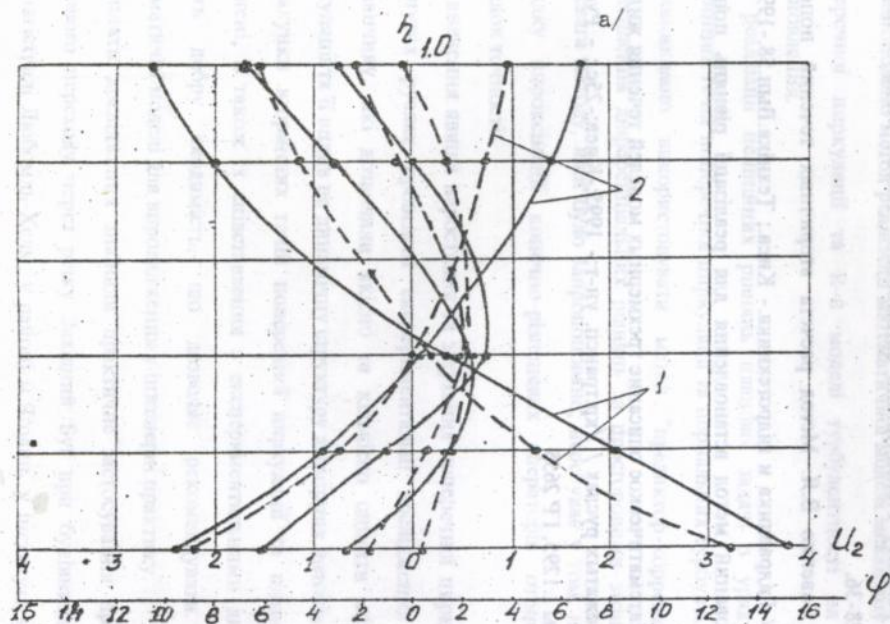
Після проведеної співставлювальної оцінки, розрахунку планових течій з урахуванням та без урахування ефекту поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень можна зробити висновок, про те, що урахування цих ефектів приводить до помилок у обчисленнях швидкостей до 27%.

ВИСНОВКИ

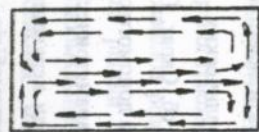
1. Розроблена математична модель механізму поперечної циркуляції у штучно стиснутих руслах з застосуванням, у якості моделі, що замикає, двопараметричної стандартної трьохмірної К-ε моделі турбулентності.
2. Запропонована модель дозволила розробити математичну модель нестаціонарної двомірної відривної течії рідини з урахуванням ефекту вторинних течій поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень.
3. На основі аналізу чисельних методів розв'язання задач гідродинаміки запропоновано метод реалізації математичної моделі механізму вторинних течій поперечної циркуляції та К-ε моделі турбулентності на основі методу встановлення.
4. Для реалізації нелінійних рівнянь планової задачі з урахуванням ефекту вторинних течій поперечної циркуляції та нормальних турбулентних напружень запропоновано використовувати метод "предиктор-корректор" на основі розщеплення диференціальних рівнянь за просторовими змінними за часом. Перевага методу, який було запропоновано, перебуває у том, що при першому порядку апроксимації кінечно-різницевих операторів отримується другий порядок точності.
5. Для вивчення явища наростання та затухання поперечної циркуляції у штучно стиснутих руслах проведені експериментальні дослідження на русловому майданчику, які дозволили якісно та кількісно оцінити ефект поперечної циркуляції та її вплив на динамічну структуру двомірних потоків.
6. Розрахунки вторинних течій поперечної циркуляції та плановий течій, які наведені, а також їх співставлення з експериментальними даними показали досить добру сходиність, що дозволяє рекомендувати запропоновані математичні моделі для впровадження у інженерні практики.
7. Результати дослідження знайшли практичне застосування при проектуванні мостового переходу через річку Західний Буг при будівництві міжнародної автомагістралі Любомль-Хелм, у районі м.Ягодин, у інституті Укргіпродор, що дозволило підвищити обґрунтованість інженерних рішень.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ВІДОБРАЖЕНІ У ПУБЛІКАЦІЯХ:

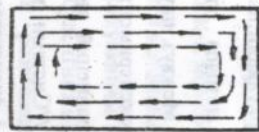
1. Рублев А.В., Савенко В.Я. Экспериментальные исследования вторичных течений поперечной циркуляции на неразмываемой модели мостового перехода //Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных сооружений.- Саратов.; Межвуз. научн. сб. Саратов. Гос. Техн. Ун-та.-1995.- с.35-43. Обробка результатів експериментів за допомогою ПЕОМ та графобудівника.
2. Рублев А.В. Решение уравнений двухпараметрической модели турбулентности методом установления //Системні методи керування, технологія та організація виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів.- Киев.; Межвуз. научн. сб. УТУ.-1997.-с.28-36.
3. Рублев А.В., Савенко В.Я. Метод расчета вторичных течений поперечной циркуляции // Гидравлика и гидротехника.- Киев.; Техніка.Вып.58.-1995.-с.12-18. Запропонований метод встановлення для реалізації рівнянь поперечної циркуляції.
4. Рублев А.В. Математическое описание трехмерных моделей течения жидкости в искусственно сжатых руслах / Укр.трансп. ун-т;- 1995;-Киев;-25с.; - Рус.Деп. в ГНТБ Украины I.1295. ГР 2655



14 створ



15 створ



17 створ

$$\psi = \alpha - \alpha_{cp}$$

Рис. 1. Переформування одного виду поперечної циркуляції в інший.
 а - послідовна зміна еюри швидкості поперечної циркуляції U_2 та кута відхилення вектора осередненої швидкості на вертикалі від динамічної осі потоку ψ
 б - схема поперечної циркуляції, яка мала місце під час проведення експериментальних досліджень
 1, 2 - відповідно, початкові та кінцеві еюри U_2 та ψ

АННОТАЦИЯ

Рублев А.В. Расчеты вторичных течений поперечной циркуляции у гидротехнических сооружений в руслах. Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.07- Механика жидкости, газа и плазмы. Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт". Киев 1997 г.

Защищается диссертация в которой исследуются явления возникающие при протекании потока жидкости в искусственно сжатых руслах.

Проведены исследования по изучению вторичных течений поперечной циркуляции и их влияние на скоростную структуру потока, и изменение плана течения у гидротехнических сооружений.

В ходе проводимых исследований разработана математическая модель вторичных течений поперечной циркуляции, предложен метод ее реализации. Проведены экспериментальные исследования подтверждающие теоретические результаты работы.

SUMMARY

Rublev A. Calculation of transverse circulation secondary flows at water-development projects in river beds. Manuscript.

A this is on competition for a scientific degree of technical sciences candidate in speciality 05.14.07- Mechanics of fluid, gas and plasma. The National Technical University of Ukraine "The Kiyiv Polytechnical Institute" Kiyiv, 1997.

The this is that investigates phenomena appearing during progress of a fluid flow in artificially compressed river beds is defended.

Investigations on studying transverse circulation secondary flows their influence on flow speed structure and flow profile change at water development projects have been carried out.

In the course of the carried-out investigations a mathematical model of transverse circulation secondary flows has been developed, a method for its realization has been proposed. Experimental investigations confirming theoretical results of the work have been carried out.

Ключові слова: поперечна циркуляція, в'їдринні течії, штучно стиснуті русла, модель турбулентності, теоретичні та експериментальні дослідження.

Підл. до друку 20.05.97

Папір друк. № 1 . Спосіб друку офсетний. Умовн. друк. арк. 1,0.

Умовн. фарбо-відб. 1. . Обл.-вид. арк. 1,0.

Тираж 1000р . Зам. № 7-1600.

Фірма «ВІПОЛ»

252151, Київ, вул. Волинська, 60.

1790-1800

4.36185

AB 37.971