

КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

ПЕРЕЧИНСКАЯ Галина Николаевна

Нестационарная плановая задача гидравлики с учетом к-ε
модели турбулентности

05.23.16 - Гидравлика и инженерная гидрология

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

КИЕВ 1995

Ав. 31.869

ЛНБ України ім. В. Стефаника
00756229 (V)



Диссертацией является рукопись

Работа выполнена в Киевском автомобильно-дорожном институте.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор Большаков В. А.

доктор технических наук, доцент Савенко В. Я.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук, старший научный сотрудник Криль С. И.

Кандидат технических наук, доцент Павлов В. И.

Ведущая организация - Украинский государственный институт по проектированию дорожного хозяйства.

Защита состоится "15" марта 1995г. в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К068.05.08 в Киевском государственном техническом университете строительства и архитектуры по адресу: 252037, г. Киев-37, Воздухофлотский проспект, 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КТУСИА.

Автореферат разослан "14" февраля 1995г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах за подписью, заверенной печатью, просьба присылать по адресу: 252037, г. Киев, Воздухофлотский проспект, 31, КТУСИА. Ученый совет.

Ученый секретарь
специализированного совета

Накорчевская В. Ф.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Возведение в речных руслах различных гидротехнических сооружений приводит к искусственному стеснению потока, нарушающему его бытовые условия. К характерным особенностям искусственно сжатых русел следует отнести наличие значительных водоворотных областей, заметное искривление плановых струй, которое обуславливает появление вторичных течений поперечной циркуляции а также существенную неравномерность распределения скоростей и расходов по ширине потока. Это приводит к образованию сосредоточенных размывов, которые в большинстве случаев и являются причиной разрушений и повреждений сооружений. В связи с этим оптимизация взаимодействия "объект-поток" является необходимым условием повышения надежности функционирования возводимых объектов, снижения капитальных и эксплуатационных затрат, исключения или уменьшения негативного влияния на природу инженерно-хозяйственной деятельности.

Базисной частью этой проблемы является решение гидравлических и гидродинамических задач взаимодействия потоков и сооружений.

В настоящее время детальный расчет трехмерных турбулентных течений на основе решения полных уравнений гидродинамики представляет неразрешимую задачу в связи с нерешенностью проблемы турбулентности в целом и математическими трудностями.

Для решения многих прикладных задач достаточной оказывается менее детальная информация о течениях. Поэтому в последние годы серьезное внимание уделяется разработкам двумерных моделей течений, в которых рассматривается распределение характеристик течения, осредненных по одной пространственной координате.

Цель работы заключается в разработке математической модели и метода расчета двумерных безнапорных потоков.

Для достижения цели работы потребовалось решение следующих задач:

- разработка математической модели двумерных безнапорных потоков с учетом k - ϵ модели турбулентности;
- разработка метода расчета предложенной математической модели;
- проведение экспериментальных исследований для апробации и калибровки разработанных математических моделей и методов их реализации.

Научная новизна и личный вклад автора. На защиту выносятся:

- математическая модель нестационарной плановой задачи отрывных течений без учета эффекта вторичных течений поперечной циркуляции и нормальных турбулентных напряжений с использованием для замыкания уравнений гидродинамики k - ϵ модели турбулентности;
- метод расчета планов неустановившихся и установившихся отрывных течений без учета вторичных течений поперечной циркуляции и нормальных турбулентных напряжений;

Достоверность полученных результатов подтверждена данными теоретических и экспериментальных исследований, применением методов математической статистики и теории вероятностей, оценкой достоверности экспериментов, сопоставлением полученных решений с данными физического эксперимента, апробацией результатов работы на различных уровнях.

Результаты исследований, представленные в диссертации, получены автором под руководством В.Я.Савенко и использованы для решения конкретных задач в составе многих проектов в области проектирования мостовых переходов.

Практическое значение работы определяется тем, что она позволяет повысить научно-инженерный уровень решения крупных народнохозяйственных проблем регулируемого взаимодействия потоков

с объектами различного назначения; обеспечить гидравлические и русловые расчеты при оценках и прогнозах русловых деформаций, обусловленных инженерными мероприятиями.

Практическую значимость имеют разработанные инженерные рекомендации по гидравлическим и русловым расчетам мостовых переходов на основе двумерной теории гидравлики; программы для проведения гидравлических и русловых расчетов на персональных ЭВМ.

Результаты исследований использовались при проектировании мостового перехода через р. Десна у с. Пироговка.

Полученные результаты позволяют повысить качество и обоснованность принимаемых проектных решений, сократить сроки реализации проектов.

Апробация работы. Основные результаты исследований автора докладывались и обсуждались на: заседании Украинского научного семинара по гидравлике открытых русел и сооружений при Киевском автомобильно-дорожном институте (апрель 1994 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 3 научные работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Она изложена на 147 страницах машинописного текста, иллюстрирована 34 рисунками, содержит 2 таблицы и 4 приложения. Список литературы включает 167 наименований. Приложена справка о внедрении результатов исследований в практику проектирования мостовых переходов.

Сущность и общее направление работы кратко изложены во введении, сформулированы задачи настоящего исследования, показана актуальность работы.

Обзор литературных источников, причем рассмотрены только основополагающие работы, представляющие научный и практический интерес в рамках данного исследования, приведен в первой главе.

Основоположником плановой задачи гидравлики является Н.М.Бернадский, который предложил графоаналитический метод построения ортогональной сетки движения на основе закона "рисунка". Дальнейшее усовершенствование процедуры построения плана течений было предложено Ю.Ф.Прокофьевой, В.Н.Новаторцевым, Б.В.Проскураковым, К.В.Гришаниным, А.В.Караушевым, Н.М.Кулеминой, В.М.Селезневым, А.М.Власовец, А.В.Безызвестных и другими, на основе упрощения техники построения "сетки движения" и применения ЭВМ для решения исходных уравнений. Однако, сам процесс реализации данного метода очень громоздок и трудоемок, что затрудняет его широкое применение в проектной практике.

Существующие методы решения плановой задачи отрывных течений, основанные на интегрировании уравнений движения и неразрывности, подразделяются на аналитические и численные.

Аналитические методы решения нашли отражение в работах С.Н.Нумерова, В.В.Баланина, В.М.Селезнева, И.М.Коновалова, А.Н.Бутакова и других исследователей. Эти методы основаны на введении ряда допущений и приближений, позволяющих свести уравнения движения к линейным, что в значительной степени обедняет класс решаемых задач.

Численные методы развивались по двум основным направлениям:

- упрощения исходных уравнений и, как следствие, процедуры их

реализации путем исключения из них слагаемых, оказывающих несущественное влияние на динамические характеристики потока для определенных классов прикладных задач;

- выделение в потоке отдельных фрагментов с определенными характеристиками течений, которым присуща определенная общность, позволяющих упростить математическую идеализацию и описание физической картины.

К первому направлению следует отнести работы Линдертси, Като, Хагино и других исследователей, и они могут быть рекомендованы для расчетов приливных течений.

Развитие методов второго направления нашло отражение в работах Н.М.Бернадского, И.И.Леви, Г.В.Востржела, М.А.Михалева, А.Н.Рахманова, А.Г.Соловьевой и других. Наиболее глубокий научный подход к решению задач расчета планов отрывных течений нашел отражение в монографии И.А.Шеренкова. Им предложены методы расчета планов отрывных течений по фрагментам для трех случаев: 1 - известно положение динамической оси и боковых границ транзитной струи; 2 - известно положение динамической оси потока в плане, а положение боковых границ струи неизвестно; 3 - положение динамической оси и боковых границ транзитной струи неизвестно.

Однако, при реализации метода И.А.Шеренкова применяется постоянное значение коэффициента турбулентной вязкости, что, в принципе, не позволяет получить реальной картины распределения скоростей в различных областях отрывных течений.

В связи с этим, разработку математических моделей отрывных течений и методов их реализации следует признать актуальной как с научной, так и с практической точек зрения.

Разработке математической модели двумерного течения жидкости с учетом $k-\epsilon$ модели турбулентности посвящена вторая глава.

В результате интегрирования по глубине потока уравнений осредненного турбулентного движения О. Рейнольдса и оценки порядка слагаемых получены уравнения движения и неразрывности плановой задачи в виде:

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} + \alpha_h \left[\frac{\partial U_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_2} \right] = -\varepsilon \frac{\partial H}{\partial x_1} - \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\overline{V_1^2} - \overline{V_2^2} \right) - \frac{\partial}{\partial x_2} \overline{V_1 V_2} + \frac{1}{\rho h} (\tau_{1H} - \tau_{1z0}); \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_2}{\partial t} + \alpha_h \left[\frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2^2}{\partial x_2} \right] = -g \frac{\partial H}{\partial x_2} - \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\overline{V_1^2} - \overline{V_2^2} \right) - \frac{\partial}{\partial x_1} \overline{V_1 V_2} + \frac{1}{\rho h} (\tau_{2H} - \tau_{2z0}); \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \sum_{i=1}^2 \frac{\partial U_i h}{\partial x_i} = 0 \quad (3)$$

Полученная система уравнений плана течений (1) - (3) является незамкнутой, так как в уравнениях движения присутствуют нормальные и касательные турбулентные напряжения. Наличие в уравнениях этих напряжений приводит к необходимости аппроксимации с помощью определенной модели турбулентности членов турбулентного переноса.

Значительный вклад в решение проблемы замыкания системы уравнений турбулентного движения внесли А. Н. Колмогоров, Л. Прандтль, Л. Г. Лойцянский, Ю. Ротта, Б. И. Давыдов, А. С. Монин, М. Д. Миллионщиков, Г. С. Глушко, В. Г. Невзядов, А. Н. Секундов, Б. А. Коловандин, К. В. Джаугуштин, Н. Д. Булеев, В. В. Бруцкий, А. П. Нетухайло, К. Ханжалик, Б. Е. Лаундер, Д. Б. Сполдинг, К. Дональдсон, П. Г. Самвен и другие. При расчетах отрывных течений с учетом поперечной циркуляции необходимо применять модели турбулентности, учитывающие пульсационную структуру турбулентного потока. Одной из таких моделей является к-ε модель, которая основана на концепции турбулентной вязкости:

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

Эта модель широко апробирована применительно к задачам расчета пограничного слоя и турбулентных струй. В настоящей работе к-ε модель турбулентности обобщена и применяется к расчету двумерных отрывных течений, и с учетом общепринятых модельных соотношений уравнения имеют вид:

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial K}{\partial x_j} = \nu \left[\frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\nu_t}{\sigma_k} \frac{\partial \bar{V}_j}{\partial x_j} \right] - \epsilon; \quad (5)$$

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + \bar{V}_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = - \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\nu_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + \left[C_1 \frac{P}{\epsilon} - C_2 \right] \frac{\epsilon^2}{K}. \quad (6)$$

Разработке метода решения планов нестационарных отрывных течений посвящена третья глава.

В работе рассмотрена задача расчета плана течений равномерных турбулентных потоков. Уравнения, описывающие этот класс течений в двумерной постановке, получены из динамических уравнений плановой задачи (1) - (3), принимая в последних:

$$U_1 = U; \quad U_2 = 0; \quad \frac{\partial}{\partial t} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial}{\partial x_1} = 0;$$

$$g \cdot \frac{\partial h}{\partial x_1} + \frac{\tau_{x_1 z_0}}{\rho h} - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \langle V_1 V_2 \rangle}{\partial x_2} = 0; \quad (7)$$

$$\frac{\partial U h}{\partial x_1} = 0; \quad (8)$$

Для получения общих решений плановой задачи отрывных течений в настоящее время четко определились два различных подхода. Первый подход заключается в непосредственном численном интегрировании системы уравнений движения и неразрывности. Второй подход к расчету плана отрывных течений заключается в разбиении потока на фрагменты или области в плане, характеризующиеся определенными общими закономерностями или свойствами. Впервые он был сформулирован и использован Н.М.Бернадским.

С позиций гидромеханики при расчете отрывных течений необходим

обязательный учет турбулентных напряжений, так как именно эти напряжения и турбулентная вязкость являются тем механизмом, который обуславливает передачу импульса от струи к рециркуляционным зонам. Неучет горизонтальной турбулентной вязкости в принципе не позволяет получить картину отрывных течений в плане, качественно отражающую реальное распределение скоростей.

В рамках представленных исследований предложен метод расчета планов нестационарных отрывных течений с учетом изменения горизонтальной турбулентной вязкости в области решения задачи.

Выражая касательные турбулентные напряжения с помощью гипотезы Буссинеска, а также учитывая квадратичные законы трения, уравнения нестационарной плановой задачи имеют вид:

$$\frac{\partial U_1}{\partial t} + \alpha_h \left[\frac{\partial U_1^2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_2} \right] = -g \frac{\partial H}{\partial x_1} + \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\nu \cdot \frac{\partial U_1}{\partial x_2} \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\nu \cdot \frac{\partial U_2}{\partial x_1} \right] - \frac{C_f U_1 \sqrt{U_1^2 + U_2^2}}{K_\Phi h}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial U_2}{\partial t} + \alpha_h \left[\frac{\partial U_1 U_2}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2^2}{\partial x_2} \right] = -g \frac{\partial H}{\partial x_2} + \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\nu \cdot \frac{\partial U_1}{\partial x_2} \right] +$$

$$+ \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\nu \cdot \frac{\partial U_2}{\partial x_1} \right] - \frac{C_f U_2 \sqrt{U_1^2 + U_2^2}}{K_\Phi h}; \quad (10)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial U_1 h}{\partial x_1} + \frac{\partial U_2 h}{\partial x_2} = 0 \quad (11)$$

Для решения системы уравнений (9) - (11) необходимо использовать значения ν , осредненные по глубине. В.Роди принял допущение о том, что для осредненных по глубине величин локальное состояние турбулентности может быть охарактеризовано осредненными по глубине кинетической энергией турбулентности k и скоростью ее диссипации ϵ , а осредненные по глубине коэффициенты турбулентной вязкости ν можно выразить через эти параметры с помощью соотношения:

$$\nu = 0, \mu \frac{K^2}{\epsilon} \quad (12)$$

Изменение осредненных по глубине величин k и ϵ определяется из следующих уравнений:

$$U_1 \frac{\partial K}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial K}{\partial x_2} = \frac{\partial}{\partial x_1} \left[\frac{\nu_1}{\sigma_k} \cdot \frac{\partial K}{\partial x_1} \right] + \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\frac{\nu_1}{\sigma_k} \cdot \frac{\partial K}{\partial x_2} \right] + P_h + P_{kv} - \epsilon \quad (13)$$

$$U_1 \frac{\partial \epsilon}{\partial x_1} + U_2 \frac{\partial \epsilon}{\partial x_2} = \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\frac{\nu_1}{\sigma_\epsilon} \cdot \frac{\partial \epsilon}{\partial x_1} \right] + \frac{\partial}{\partial x_2} \left[\frac{\nu_1}{\sigma_\epsilon} \cdot \frac{\partial \epsilon}{\partial x_2} \right] + C_1 \frac{\epsilon}{K} P_h + P_{\epsilon v} - C_2 \frac{\epsilon^2}{K}, \quad (14)$$

где член

$$P_h = \nu_1 \left[2 \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_1} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial U_2}{\partial x_2} \right)^2 + \left(\frac{\partial U_1}{\partial x_2} + \frac{\partial U_2}{\partial x_1} \right)^2 \right]$$

описывает генерацию турбулентности за счет взаимодействия турбулентных напряжений и горизонтальных градиентов осредненной скорости.

Приспособление k - ϵ модели для вычислений осредненных по глубине величин носит скорее эмпирический характер, однако расчеты, проводимые В.Роди, Б.Е. Лондером, Д.Б. Сполдингом, А.К. Растоги показывают достаточно высокую степень сходимости с данными лабораторных опытов и расчетами, проведенными другими авторами.

Уравнения плановой задачи (9) - (11) относятся к нелинейным уравнениям гиперболо-параболического типа (по терминологии В.М. Ковени и Н.Н. Яненко - не вполне параболическая система уравнений). Эта система уравнений в общем случае не может быть реализована аналитическими методами. Вследствие этого необходимо применение численных методов для реализации математических моделей такого типа.

На основании проведенного в работе анализа численных методов

решения нелинейных задач гидрогазодинамики в качестве численной модели для реализации системы уравнений плановой задачи выбрана модифицированная схема Мак-Кормака с расщеплением дифференциальных уравнений по времени и пространственным переменным. Эта схема обладает следующими свойствами:

- 1) явная консервативная схема;
- 2) двухшаговая, типа предиктор-корректор;
- 3) трехточечная двухуровневая (решение f_i^{n+1} зависит от трех значений на уровне n);
- 4) второй порядок точности по времени и пространству.

Метод расщепления был предложен В.М.Ковеня, Н.Н.Яненко, Г.И.Марчук для решения стационарных задач на основе принципа установления. Для нестационарных задач газовой динамики экономичные схемы расщепления удобно строить применяя метод предиктор-корректор. Идея метода принадлежит В.М.Ковеня, Г.И.Марчук и состоит в следующем.

Каждое из расщепленных уравнений, в общем случае, некорректно, но полная расщепленная система является корректной. Для данного двумерного случая достаточно сложный дифференциальный оператор расщепляется на последовательность более простых. Процесс расщепления дает уменьшение количества вычислений на каждом временном шаге и достижение второго порядка точности по времени и пространству при использовании симметричной последовательности одномерных конечно-разностных операторов.

В задаче численного интегрирования системы уравнений использована ортогональная сетка с переменным шагом по обоим пространственным переменным, в узлах которой определяются значения искомых величин (составляющих вектора скорости и отметки свободной поверхности потока). Решение в момент времени $(n+1)\Delta t$ для расчетной точки $(1, j)$ получается применением модифицированной

конечно-разностной схемы Мак-Кормака с использованием метода предиктор-корректор в виде:

$$U_{i,j}^{n+1} = L_{x2} \left[\frac{\Delta t}{2} \right] \cdot L_{x1} \left[\frac{\Delta t}{2} \right] \cdot L_{x1} \left[\frac{\Delta t}{2} \right] \cdot L_{x2} \left[\frac{\Delta t}{2} \right] U_{i,j}^n, \quad (15)$$

где L_{x1} , L_{x2} - соответствующие одномерные конечно-разностные операторы.

Каждый из операторов L_{x1} и L_{x2} представляет собой последовательность предиктор-корректор, т.е. является одномерным вариантом схемы по соответствующей пространственной координате.

Учитывая сложность поставленной задачи с математической точки зрения, на первом этапе рассматривается течение жидкости в прямоугольном русле (постоянной ширины) с разделением потока на русловую и пойменные части, для которых характерны различные гидравлические характеристики потока и значения коэффициентов шероховатости.

Угруппенная блок-схема решения нестационарной плановой задачи отрывных течений приведена на рис. 1.

При расчете двумерных нестационарных течений в области со сложной геометрией в плане получение разностных уравнений существенно усложняется. В связи с этим, в работе предложен метод, позволяющий при помощи соответствующего преобразования координат свести решение уравнений плановой задачи в полосу переменной ширины, т.е. в области с подвижными границами, к решению этих уравнений в полосе постоянной ширины.

Для нахождения распределения значений коэффициента турбулентной вязкости в области решения задачи необходимо решить систему уравнений двухпараметрической $k-\epsilon$ модели турбулентности. Одним из возможных путей решения поставленной задачи является применение метода установления.

Для нахождения изменения осредненных по глубине значений

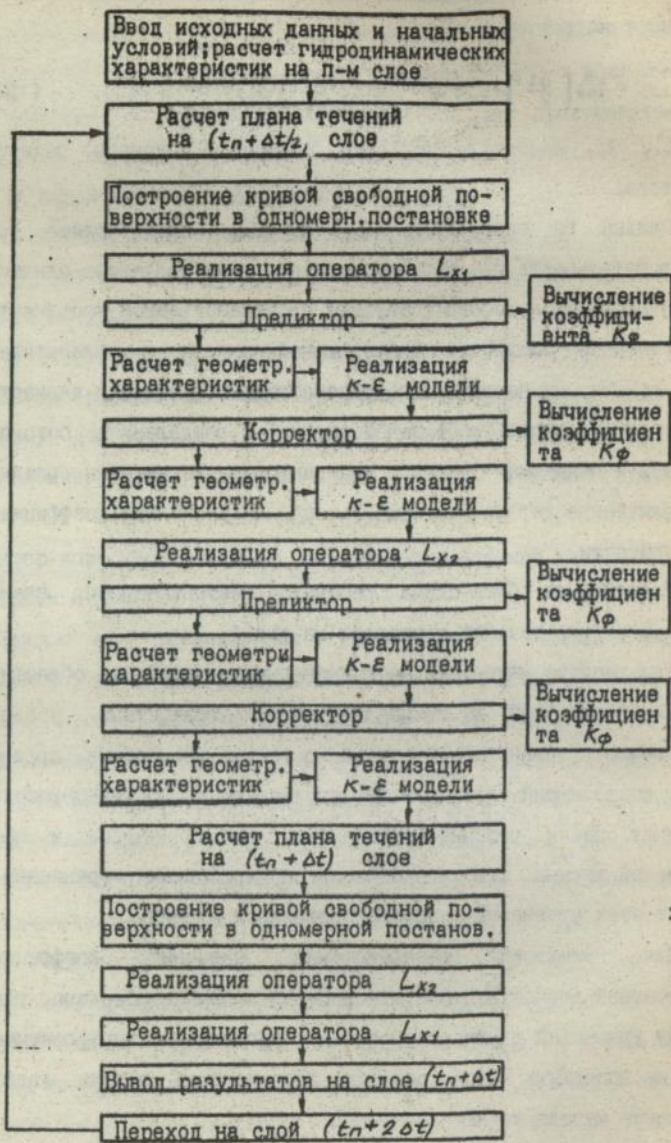


Рис. I

Укрупненная блок - схема решения нестационарной плановой задачи отрывных течений

кинетической энергии турбулентности k и скорости ее диссипации ϵ методом установления необходимо рассматривать вспомогательную нестационарную задачу, т.е. в левые части уравнений (13) и (14) необходимо добавить соответствующие слагаемые $\frac{\partial k}{\partial t}$ и $\frac{\partial \epsilon}{\partial t}$.

Для расчета планов стационарных течений целесообразно использовать накопленный теоретический и практический материал в области методов расчета планов нестационарных отрывных течений. Эффективным инструментом реализации такого подхода и является метод установления. Такой подход оправдан и с физической точки зрения, так как установившееся течение жидкости является результатом установления нестационарных течений.

В качестве скалярной характеристики течения наиболее выгодным оказывается применять расход через поперечный створ в области течения. Тогда за момент установления принимается тот момент, когда выполняется соотношение

$$\max_I |Q_i - Q| < \epsilon |Q| \quad (16)$$

где Q_i - расход через i -й поперечный створ; Q - расход через границу области.

Преимуществами предлагаемого метода являются:

1. Универсальность алгоритма как для стационарных, так и для нестационарных течений.

2. Схемы, используемые для конечно-разностной аппроксимации исходных дифференциальных уравнений, обеспечивают второй порядок точности аппроксимации.

3. Применение данного метода позволяет существенно сократить время решения нестационарных задач. Во многих инженерных задачах практический интерес представляют результаты расчета планов течений только на определенных участках ветвей подъема и спада гидрографа паводка. В этом случае выделяется интересующий участок

гидрографа паводка и на начальном слое участка гидрографа расчет плана течений производится методом установления, а на последующих временных слоях рассчитывается план неустановившихся отрывных течений. Такой прием позволяет сократить время получения интересующих результатов в несколько раз.

Для однозначной характеристики процесса движения жидкости и переноса компонент турбулентных напряжений возникает необходимость в задании дополнительных данных, которые в простейшем случае состоят из начальных и граничных (краевых) условий, которые детально рассмотрены в работе.

Экспериментальным исследованиям и сопоставительной оценке разработанных методов решения нестационарной плановой задачи посвящена четвертая глава. Приведен пример расчета мостового перехода через р. Десна и отмечены практические аспекты применения предложенных методов в инженерной практике.

Отсутствие необходимых экспериментальных и натурных данных по исследованию планов отрывных течений привело к необходимости проведения лабораторных исследований на моделях мостовых переходов. Этот вид гидротехнических сооружений наиболее распространен в практике строительства сооружений через водотоки, а при проектировании мостовых переходов возникают те проблемы, которые и рассмотрены в рамках настоящих исследований.

Исходя из поставленной цели непосредственными задачами исследований являлись:

- изучение полей осредненных скоростей и уровня режима (плана течений) в зоне влияния сооружений мостового перехода;
- изучение поверхностных и донных траекторий с целью определения размеров рециркуляционных зон в нижнем и верхнем бьефах мостовых переходов;
- изучение плановых деформаций русел и их влияние на

скоростную структуру потока;

- сопоставление результатов теоретических и экспериментальных данных;

- калибровка моделирующей системы.

Для проведения исследований были построены физические модели мостового перехода с различными типами струенаправляющих дамб и без таковых, на основании общей теории моделирования гидравлических явлений.

При моделировании требуется соблюдение трех условий:

- равенство чисел Фруда на модели и в натуре;

- геометрическое подобие речного потока и модельного сооружения;

- число Рейнольдса на модели должно быть таким, чтобы имела место автомодельность явления.

Моделирование осуществлялось с искажением вертикального масштаба. Степень искажения принята равной $\phi = 2.5$, что укладывается в рекомендуемый диапазон степени искажения.

Для пересчета основных характеристик модельного потока в натуре применяются формулы, вытекающие из закона гравитационного подобия.

Режимы течения на модели соответствовали квадратичной области сопротивлений, для которой возможно одновременное удовлетворение всех условий: геометрического, кинематического равенства коэффициентов сопротивления, чисел Фруда, параметров кинетичности.

Экспериментальные исследования выполнялись на русловой площадке УкрНИИГиМа.

Поперечное сечение лотка имело форму прямоугольника с углубленной трапецидальной русловой частью. Для придания пойме усиленной шероховатости, в случае неразмываемой и размываемой моделей, ее поверхность посыпалась гравием размерами 2-3 мм.

При изучении кинематической структуры моделируемых потоков применялся 10-канальный измеритель, разработанный в УкрНИИТим на базе микровертушки. Направления векторов скоростей в различных точках потока измерялись с помощью специального приспособления, состоящего из тонкой спицы и шелковой нити, приклеенной к передней части вертушки, а также проградуированного лимба и стрелки.

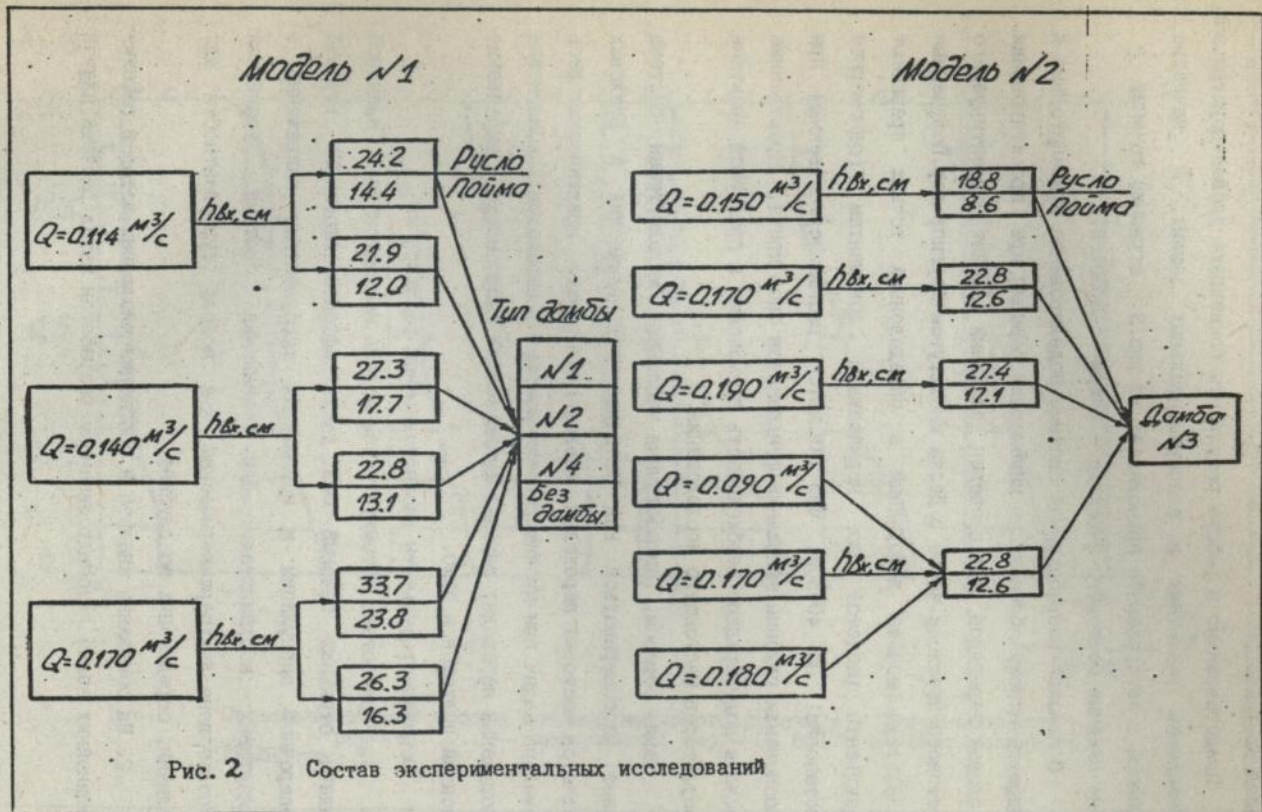
Исследования проводились при числах Фруда от 0.0079 до 0.091, что соответствует равнинным рекам. Числа Рейнольдса изменялись от 13000 до 89000, что отвечало условию автомодельности. Для апробации методов расчета был смоделирован однопиковый гидрограф паводка для равнинных рек, в случае отсутствия наблюдений за ними. Модельный гидрограф паводка и определил состав проведения исследований, который приведен на рис. 2.

В диссертационной работе произведена оценка точности выполненных измерений, на основании методов, предложенных Г. В. Желуняновым, Б. Б. Данилевичем и А. Н. Зальцем. Относительная ошибка измерений величин не превышает 3.5%.

Для численной обработки результатов экспериментальных исследований был разработан пакет программ, позволяющих максимально расширить объем получаемой экспериментальной информации.

Графическая обработка результатов эксперимента проводилась с помощью графопостроителя СМ 7300 в комплексе с ЭВМ СМ 1420. Авторами было разработано три пакета программ для построения эпюр, профилей и графиков изменения характеристик потока по длине, ширине и его глубине.

Программное обеспечение реализации моделирующей системы, разработанное в рамках представленной работы, состоит из комплекса программ, включающего в себя восемь функционально независимых, но полностью согласованных между собой по структуре блоков, входных и



выходных файлов.

Представленные в работе результаты показывают удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных. В качестве примера в автореферате приводятся: на рис.3 - отрывные течения в зоне влияния мостового перехода - эпюры скоростей.

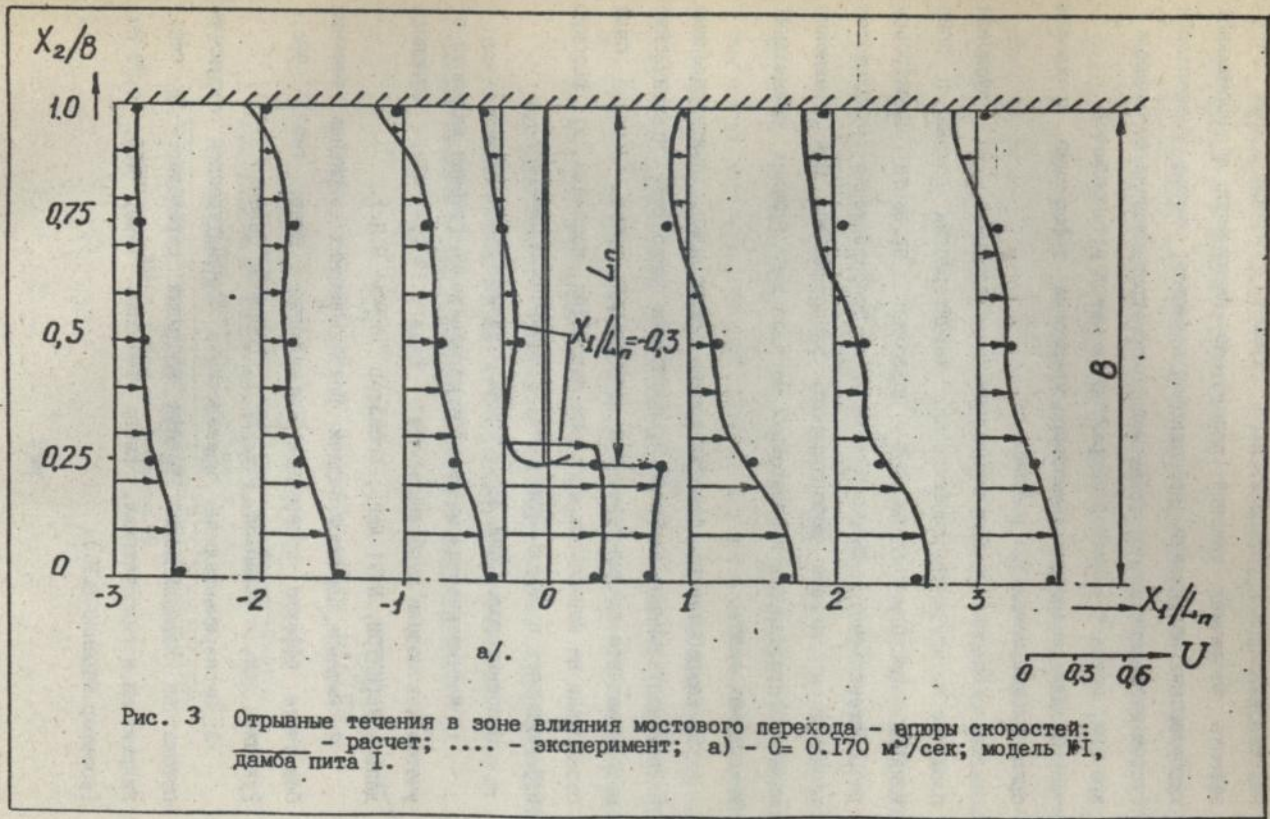
С помощью разработанной системы моделирования применительно к гидравлическому обоснованию инженерных решений при проектировании мостовых переходов, был проведен детальный расчет проектируемого мостового перехода через р.Десна институтом Укргипродор. Полученные результаты расчета деформаций в определенных точках превышают результаты расчетов по нормативным документам (одномерная постановка) на 40-50%, что является весьма существенным при обосновании глубины заложения фундаментов опор моста. Проведенные расчеты подтверждают необходимость применения в проектной практике результатов настоящего исследования.

Таким образом, разработанная численная моделирующая система может рассматриваться как методика гидравлических и русловых расчетов мостовых переходов, позволяющая решать практически весь комплекс задач при проектировании мостовых переходов: компоновка сооружений перехода; глубина фундирования опор моста, укрепление насыпей подходов и дамб.

Основные результаты диссертационной работы:

1. Разработана математическая модель нестационарной плановой задачи отрывных течений без учета эффекта вторичных течений поперечной циркуляции и нормальных турбулентных напряжений в декартовых координатах. Для замыкания системы уравнений использована двухпараметрическая $k-\epsilon$ модель турбулентности для величин, осредненных по глубине.

2. На основании анализа и обобщения численных методов решения нелинейных задач газогидродинамики разработан метод расчета планов



неустановившихся и установившихся отрывных течений без учета эффекта вторичных течений поперечной циркуляции и нормальных турбулентных напряжений. Его основой являются: метод расщепления систем дифференциальных уравнений по пространственным переменным и времени, метод "предиктор-корректор" и метод установления.

3. Для реализации двумерного уравнения деформаций предложен оригинальный метод его решения.

4. Обширные экспериментальные исследования на русловой площадке по изучению динамических характеристик потока в зоне влияния мостовых переходов позволили провести калибровку разработанных математических моделей и сопоставление результатов расчетов с данными лабораторного эксперимента. Эти сравнения показали пригодность предлагаемых методов для решения прикладных инженерных задач.

5. Разработанные теоретические предпосылки, подтвержденные экспериментальными материалами, позволили предложить практические методы расчета планов течений и деформаций русел, которые были отработаны на конкретных мостовых переходах, показали их высокую эффективность и результативность, и внедрены в практику.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Математическая модель квазитрехмерного течения жидкости с учетом $k-\epsilon$ модели турбулентности. - Киев: 1992. - 47с. - Рукопись деп. в УкрИНТЭИ, N191 Деп., (соавтор Савенко В.Я.).

2. Решение плановой задачи нестационарных отрывных течений без учета эффекта поперечной циркуляции. - Киев: 1992. - 98с. - Рукопись деп. в УкрИНТЭИ, N192 Деп., (соавтор Савенко В.Я.).

3. Экспериментальные исследования кинематической структуры потока на неразрываемой модели мостовых переходов. - В сб.: Гидравлика и гидротехника, Киев: Техніка, 1992, N55, с.19-25, (соавтор Савенко В.Я.).

Перечинська Г.М. "Нестационарна планова задача гідравліки з врахуванням к-ε моделі турбулентності"

Дисертація - рукопис. Спеціальність- 05.23.16 - гідравліка та інженерна гідрологія. Київський державний технічний університет будівництва та архітектури, Київ, 1994.

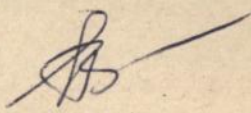
В дисертації на основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблені математична модель руху рідини в двовірній постановці з врахуванням сучасної двопараметричної к-ε моделі турбулентності та методи її реалізації.

Perechinskaya G.N. "The transient plan problem of the hydraulics with the k-ε model of turbulence consideration".

The dissertation is the manuscript. The speciality is 05.23.16 - hydraulics and engineering hydrology. Kiev state technical university of the building and architecture, Kiev, 1994.

A mathematical model of two-dimensional fluid's motion in that considers modern two-parametrical k-ε model of turbulens and methods of its realizations has been developed in this work based on theoretical and experimental reseaches.

Ключевые слова: плановая задача, модель турбулентности, искусственно сжатые русла, метод расщепления, численные модели и схемы, теоретические и экспериментальные исследования.



Подп. к печ. 07.02.95. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага тип. № 3. Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 14.
Услови. кр.-отт. 139. Уч.-изд. л. 10.
Тираж 100. Зак. № 5-729.

Фирма «ВНПОЛ»
252151, г. Киев, ул. Волянская, 60.

AB 31.869

AB 31.869