

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕ СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И  
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА»**

**Халимбетов А.Б., Бакиев М.Р., Худайбергганов Х.А.**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА  
КОМБИНИРОВАННЫХ ДАМБ НА ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКАХ  
РЕКАХ**

**/МОНОГРАФИЯ/**

**Тошкент–2022**

Монография рассмотрена и рекомендована к печати Ученым советом Национальный исследовательский университет «Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства» (НИУ «ТИИИМСХ») (протокол №\_\_ от \_\_ октября 2022 года)

**УДК626/627.41.42**

В монографии приведена новая конструкция комбинированной дамбы с водопропускной частью из траэдров, изложены методы расчета смещения оси потока, метод расчета водопропускной способности комбинированной дамбы из тетраэдров и русла в створе стеснения, разработаны научно теоретические зависимости для расчета средних и действительных скоростей и глубин потока за водопропускной частью в областях планового и вертикального сжатия, установлены закономерности растекания потока стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров, который даёт возможность рассчитать поле скоростей и плановые размеры потока.

Монография подготовлена по результатам доктора философии (PhD) по техническим наукам «Совершенствование конструкции и методов расчета комбинированных дамб на предгорных участках рек»

Представляет интерес для бакалавров, магистрантов, научных сотрудников и специалистов в области гидротехники.

Монографияда сув ўтказадиган қисми тетраэдрлардан иборат комбинациялашган дамбанинг янги конструкцияси келтирилган, дамба таъсирида оқим динамик ўқини оғишини ҳисоблаш усули такомиллаштирилган; сиқилган створда ўзан ва комбинациялашган дамбанинг сув ўтказиш қобилиятини аниқлаш усули ишлаб чиқилган, планда ва вертикал сиқилган зоналарда ўртача ва ҳақиқий тезликларни, сув ўтказадиган қисм ортида сув чуқурлигини ҳисоблаш учун назарий ифодалар таклиф қилинган, тезлик майдони ва оқимнинг пландаги ўлчамларини ҳисоблаш усуллари ишлаб чиқилган.

Монография “Дарёларнинг тоғ олди участкаларида комбинациялашган дамбалар конструкциялари ва ҳисоблаш усуллари такомиллаштириш” мавзусидаги фалсафа доктори (PhD) бўйича олиб борилган тадқиқотлар асосида тайёрланган. Гидротехника соҳасидаги бакалаврлар, магистрантлар, илмий ходимлар ва мутахассислар учун мўлжалланган.

Рецензенты: Файзиев Х. профессор кафедры “Гидротехнические сооружения, основания и фундаменты” ТАСИ, д.т.н.

Хидиров С. PhD, доцент кафедры ИВЭ и НС

## О Г Л А В Л Е Н И Е

	<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>Глава I</b>	<b>Обзор существующих исследований по изучению взаимодействия потока и поперечных регуляционных сооружений</b> .....	7
1.1.	Способы создание искусственных русел .....	7
1.2.	Обзор существующих исследований по изучению взаимодействия глухих и сквозных регуляционных сооружений.....	11
1.3.	Обзор существующих исследований по изучению работы комбинированных регуляционных сооружений .....	13
1.4.	Особенности предгорных рек .....	18
	Выводы по главы I.....	21
<b>Глава II</b>	<b>Постановка вопроса и задачи исследований. Предпосылки создания комбинированных дамб. Новая конструкция. Экспериментальная установка, измерительная аппаратура, методика и результаты экспериментальных исследований</b> .....	23
2.1.	Постановка вопроса и задачи исследований .....	23
2.2.	Предпосылки создания комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров .....	24
2.3.	Новая конструкция комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров .....	27
2.4.	Экспериментальная установка, измерительная аппаратура и методика исследований.....	32
2.5.	Некоторые результаты экспериментальных исследований.....	37
	Выводы по главе II.....	42
<b>Глава III</b>	<b>Плановые размеры потока в области сжатия, режим уровней и смещения оси потока стесненного комбинированной дамбой с водопроводящей частью из тетраэдров</b> .....	44
3.1.	Плановые размеры потока в области сжатия.....	44
3.2.	Определения подпора потока, стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров, на предгорных участках рек.....	49
3.3.	Управление осью потока комбинированной дамбой.....	54

	Выводы по главы III.....	60
<b>Глава IV</b>	<b>Разработка теоретических основ расчета потока стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров в области расширения на предгорных участках рек .....</b>	61
4.1.	Теоретические основы расчета и её приложение к решению задачи расширения потока за комбинированными дамбами.....	61
4.1.1.	Основные положения теории турбулентных струй .....	61
4.1.2.	<b>Закономерности растекания потока за поперечной дамбой на предгорных участках рек.....</b>	62
4.2.	<b>Закономерности расширения потока стесненного комбинированной дамбой с водопроницаемой частью из тетраэдров (Случай когда относительная длина водопроницаемой части <math>l_c/l_d &lt; 0,5</math>).....</b>	71
4.3.	<b>Закономерности расширения потока за комбинированной дамбой на предгорных участках рек (Случай когда относительная длина водопроницаемой части <math>l_c/l_d &lt; 0,5</math> критический режим <math>n &gt; 0,3 Fr &gt; 0,15</math>).....</b>	75
4.4.	<b>Растекание потока, стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров, в области сжатия (Случай когда относительная длина сквозной части <math>l_c/l_d &gt; 0,5</math>).....</b>	81
	Выводы по главе IV .....	88
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	90
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	92

## ВВЕДЕНИЕ

В мире особое значение приобретает борьба с наводнениями, с размывами берегов как одно из разновидностей водной эрозии, приносящих огромный ущерб народному хозяйству многих стран. «На территориях, подверженных периодическим затоплениям, проживает порядка 1 млрд. человек»<sup>1</sup>, в этой связи совершенствование методов защиты прибрежных земель и регулирования русел рек имеет особое значение. В этом направлении, особое место в исследованиях развитых стран, в том числе США, Канада, Германия, Испания, Россия и др. отводится совершенствованию конструкций, прогнозу физических процессов в потоке стесненного регуляционными сооружениями.

В мире ведутся широкомасштабные исследовательские работы по разработке методов расчета продольных и поперечных регуляционных сооружений. В этой связи, одной из важнейших задач является разработка новых и совершенствования существующих конструкций, вскрытия физических процессов деформированного потока, разработка теоретически обоснованных методов расчета подпора, сжатия, растекания, восстановления, поле скоростей, смещения оси потока.

На сегодняшний день в нашей Республике, широко внедряются широкомасштабные мероприятия, по совершенствованию охраны водных объектов, по упорядочиванию расположения карьерных хозяйств в руслах рек, разработка мер по стабилизированному и безопасному пропуску вод по водотокам Узбекистана. В Узбекистане на берегоукрепительные, противоселевые и против паводковые работы ежегодно выделяется более 168 млрд. сум. В этом направлении, также требуются установления причин аварий регуляционных сооружений и на их основе создания новых и совершенствования существующих конструкций комбинированных дамб, разработка научно обоснованных методов расчета, разработка методов прогноза русловых перестроений потока стесненного

комбинированными дамбами. В Стратегии действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан на 2017-2021 гг. указано о «... дальнейшем развитии мелиоративных и ирригационных объектов для увеличения уровня национальной экономики»<sup>2</sup>. В этой связи имеет важное значение вскрытия механизма взаимодействия потока и сооружения; разработка новых и совершенствование существующих конструкций; установления плановых размеров потока; проектирования смещения оси потока; разработка теоретических основ расширения потока за сооружением в области сжатия и растекания.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Законе Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений» (1999), Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Узбекистана в 2017-2021 годах, утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года, Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан №13 от 21 января 2014 года «Об утверждении Программы по стабилизированному и безопасному пропуску вод по водотокам Республики Узбекистан на 2014-2015 годы и на перспективу до 2020 года», Протоколе собрания правительственной комиссии № 01-25/14-15 от 22 декабря 2020 года «По обеспечению безопасного пропуска паводковых и селепаводковых вод по водотокам, уменьшению опасности от лавин и оползневых явлений» в 2021 году а также в других нормативно-правовых документах принятых в этом направлении.

# ГЛАВА 1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКА И ПОПЕРЕЧНЫХ РЕГУЛЯЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

## 1.1. Способы создания искусственных русел.

Естественные русловые процессы не всегда протекают так, как нам хотелось. Отсюда возникает «проблема по искусственному регулированию русел рек. Задача реализуется с помощью строительства регуляционных сооружений. Регуляционными сооружениями принято называть речные сооружения, служащие для целенаправленного управления водным потоком без перекрытия русла» [9, С. 3-8].

«По назначению регуляционные сооружения бывают: защитные (для защиты берегов рек, элементов сооружений, мостов, портов), выправительные (для создания искусственного зарегулированного русла). По местоположению - русловые и пойменные. По характеру взаимодействия с потоком бывают глухие, сквозные, затопленные, поверхностные, донные и комбинированные. По ориентации относительно оси потока - продольные и поперечные. Поперечные сооружения относятся к активным типам сооружений» [9, С. 64-67; 16, С. 46].

Нередко при бесплотинных водозаборных сооружениях, также проявляется проблемы с отходом потока от точки водозабора. Для обеспечения водозабора строятся искусственные подводящие и отводящие русла. Для устранения блуждания потока в верхних и нижних бьефах, для формирования необходимой структуры потока при плотинных водозаборных гидроузлах также строятся искусственные русла.

Классическая схема регулирования русел, в том числе при бесплотинном водозаборе предложенная С.Т. Алтуниным [9,16] представляет собой криволинейное русло в плане имеющее форму пологих меандр (рис.1.1).

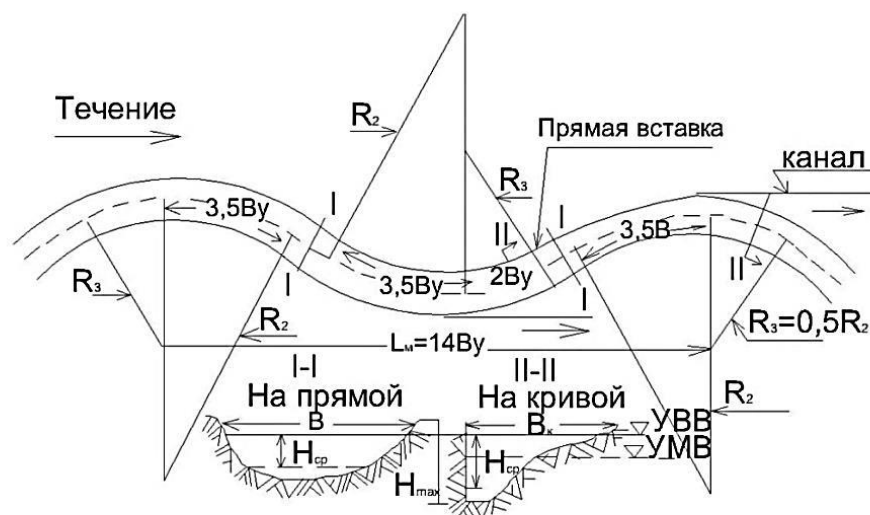


Рис.1.1. Схема регулирования русел (С.Т.Алтунин).

Шаг речной меандры  $\ell_m = (12 \div 15)B_y$ , радиусы кривизны оси зарегулированного русла  $R_2 = (7 \div 8)B_y$ ,  $R_3 = 0,5R_2$ , длина прямолинейной вставки принимается равной  $B_y$ .

Создание зарегулированных русел могут осуществляться следующими способами (рис.1.2)

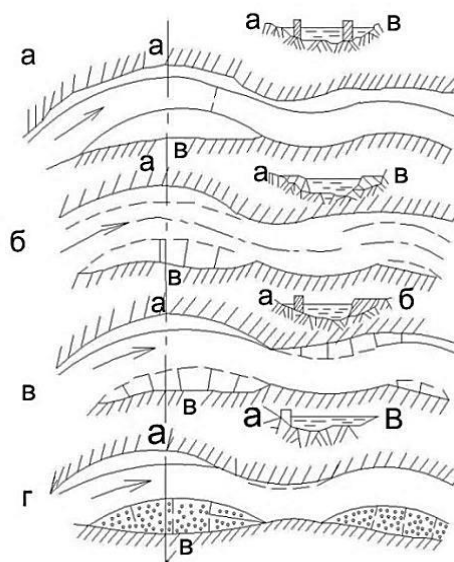


Рис.1.2. Способы создания зарегулированных русел а) продольными дамбами; б) поперечными дамбами (глухие, сквозные, затопленные, комбинированные); в, г) комбинации продольных и поперечных дамб.

Является общепризнанным, что строительство поперечных дамб обходится дешевле, чем продольных и наиболее рациональным, так как даёт



некоторую гибкость в регулировании ширины русла (этапность строительства по длине и ширине русла).

Многолетний опыт проектирования зарегулированных русел показывает их компоновку в первую очередь необходимо согласовать с планом речного русла, грунта русла, типом водозабора, режимом паводка, шуги, льда и другими местными условиями.

Впервые в мировой практике составлена (САНИРИИ) и реализована схема регулирования русла крупной реки р. Амударья ниже Туямуюнского гидроузла на длине 185 км. (рис.1.3) [46, С. 28-32].

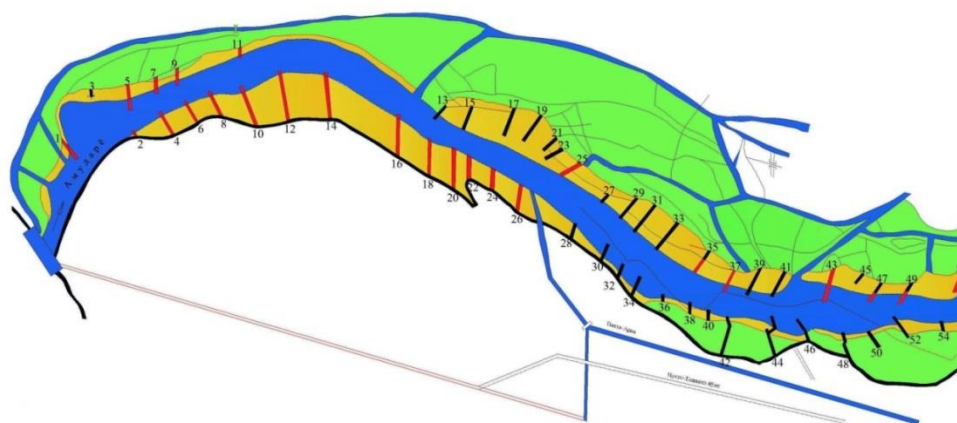


Рис.1.3. Схема регулирования русла р. Амударья (участок Ташсака)

Составлен проект регулирования русла реки р. Амударья в районе бесплотинного водозабора в Каршинский магистральный канал с помощью комбинированных дамб (рис.1.4) [22].

Подводящие и отводящие русла при всех типах плотинных водозаборных гидроузлов кроме Ферганского, в плане прямолинейные и осуществляется продольными дамбами. При очень широких поймах, струенаправляющие дамбы, во избежание удорожания стоимости гидроузла не доводят до берегов поймы. В таких случаях для направления потока к гидроузлу применяют поперечные регуляционные сооружения. Они проектируются и для сжатия потока к водозаборному сооружению или для защиты продольных дамб от подмыва. По такой схеме выполнена схема регулирования русла р. Амударья у Тахиаташского гидроузла (рис.1.5) [71, С. 51-79].

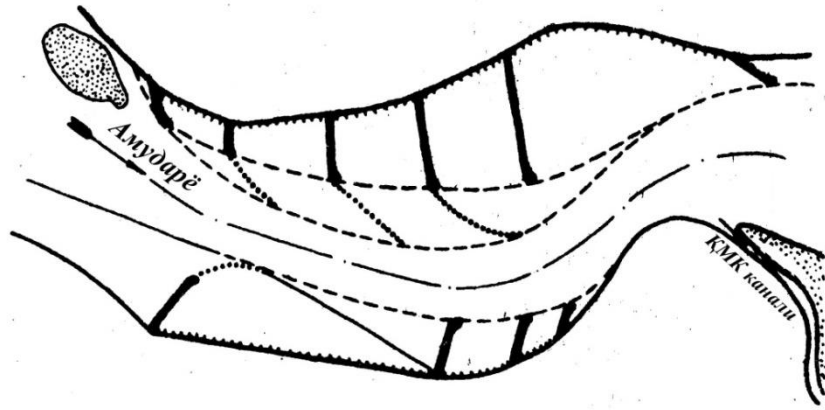


Рис.1.4. Схема регулирования русла р. Амударьи комбинированными дамбами в районе бесплотинного водозабора в Каршинский магистральный канал

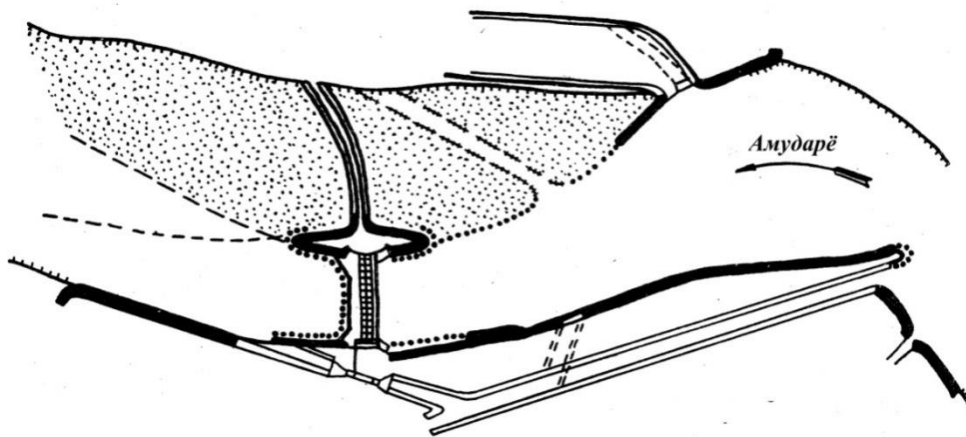


Рис.1.5. Схема регулирования русла реки Амударья комбинированными дамбами у Тахиаташского гидроузла

Для всех рассмотренных схем основными задачами проектирования являются [9, С. 67-76]:

- 1) Выбор трассы регулирования;
- 2) Назначение ширины устойчивого русла и расчет его элементов;
- 3) Выбор типа регуляционного сооружения исходя из топографии местности;
- 4) Расчет смещение оси потока и определение пропускной способности стесненного русла;
- 5) Величины подпора перед сооружением и назначением отметки верха дамбы;
- 6) Прогноз поля скоростей деформированного потока и зоны размыва;
- 7) Определение глубины местного размыва и назначение низа крепления;

- 8) Назначение расстояний между сооружениями в системе;
- 9) Назначение глубины забивки свай;
- 10) Разработать мероприятия по пропуску плавающих тел, льда, шуги;
- 11) Выбор типа крепления и их расчетное обоснование.

## **1.2. Обзор существующих исследований по изучению взаимодействия глухих и сквозных регуляционных сооружений.**

В природных условиях поток и русло находятся в диалектическом взаимодействии, русло управляет потоком а поток формирует русло. Они могут придти временному равновесию и небольшое изменения расхода нарушает это равновесия. Необходимо имеет ввиду что при русло формирующем расходе происходит формирования основного русла. Естественно при этом расходе определяются основные параметры устойчивых русел.

Строительство регуляционных сооружений целенаправленно управляет русловыми процессами сильно видоизменяя структуру и плановые гидравлические параметры потока. Особенно большие изменения происходят у поперечных сооружений шпор, бун, полузапруд, перемычек, поперечных глухих дамб и комбинированных дамб.

Характерная схема потока деформированного глухой и сквозной шпорой полученная из экспериментальных исследований показан на рис.1.6 и 1.7. Как видно глухая шпора полностью отклоняет поток от защищаемого берега а сквозная пропускает часть расхода через тело. Видно и общий характер деформации потока с появлением зон: подпора, планового и вертикального сжатия, растекания а также восстановления бытового состояния потока.

Работа глухих сооружений рассматривались в исследованиях Алтунина С.Т [9, С. 351], Алтунина В.С. [8, С. 120; 10, С. 21-23], Мухаммедова А.М., Ирмухамедова Х.А., Тузова В.Б, Раджабова К.Ю [46, С. 28-42], Бакиева М.Р. [ 15, С. 57], Икрамовой М.Р. [20, 45, С. 26], Каюмова О.А. [52, С. 30], Ламерданова З.Г. [58, 59, С. 39-43; 60, С. 19-21; 61, С. 26-28], Хмелева В.А. [91], Абдул Карим С. Шихаб [4, С. 147], в.т.ч затопленных Васильченко Г.В. [34, С. 175], Малышевич Б.Н. [64], Образовский А.С. [72, С. 101] и частично затопленных по длине поперечных преград Львова Е.А. [ 63, С. 30]. Освоения междамбного

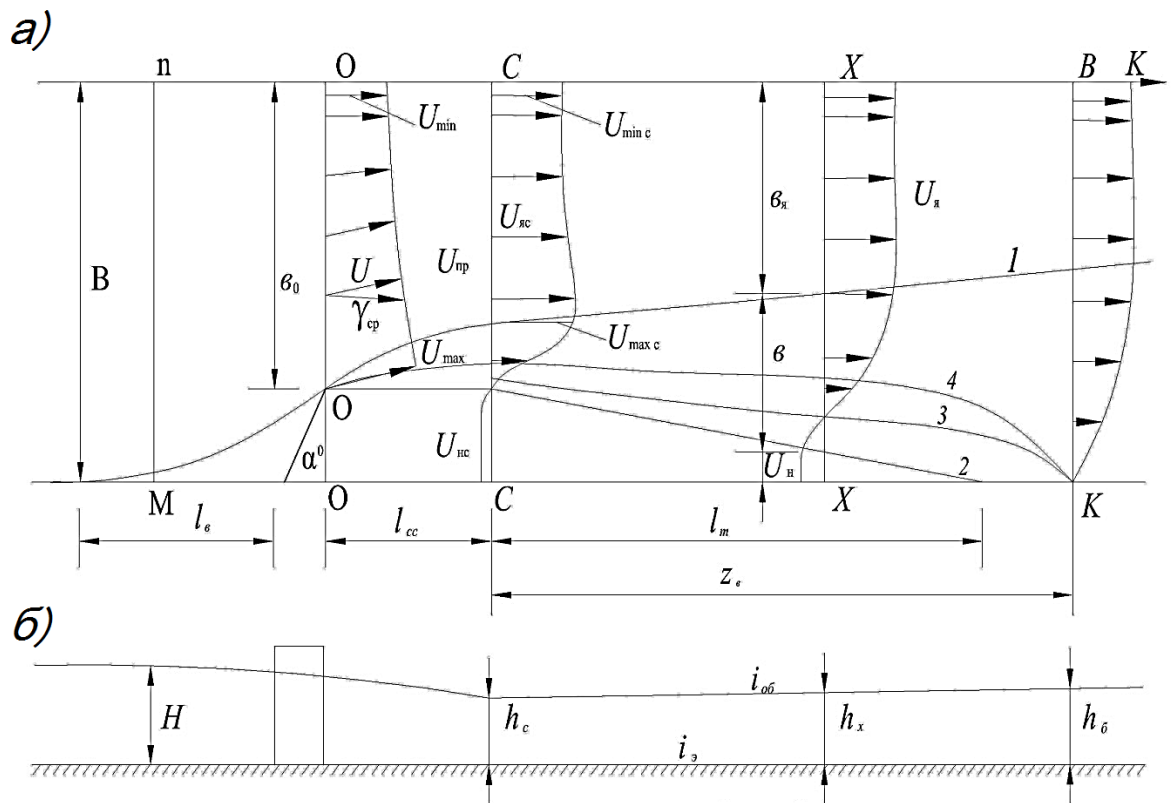


Рис.1.6. Схема потока деформированного глухой шпорой (Бакиев М.Р)  
а) план; б) продольный разрез

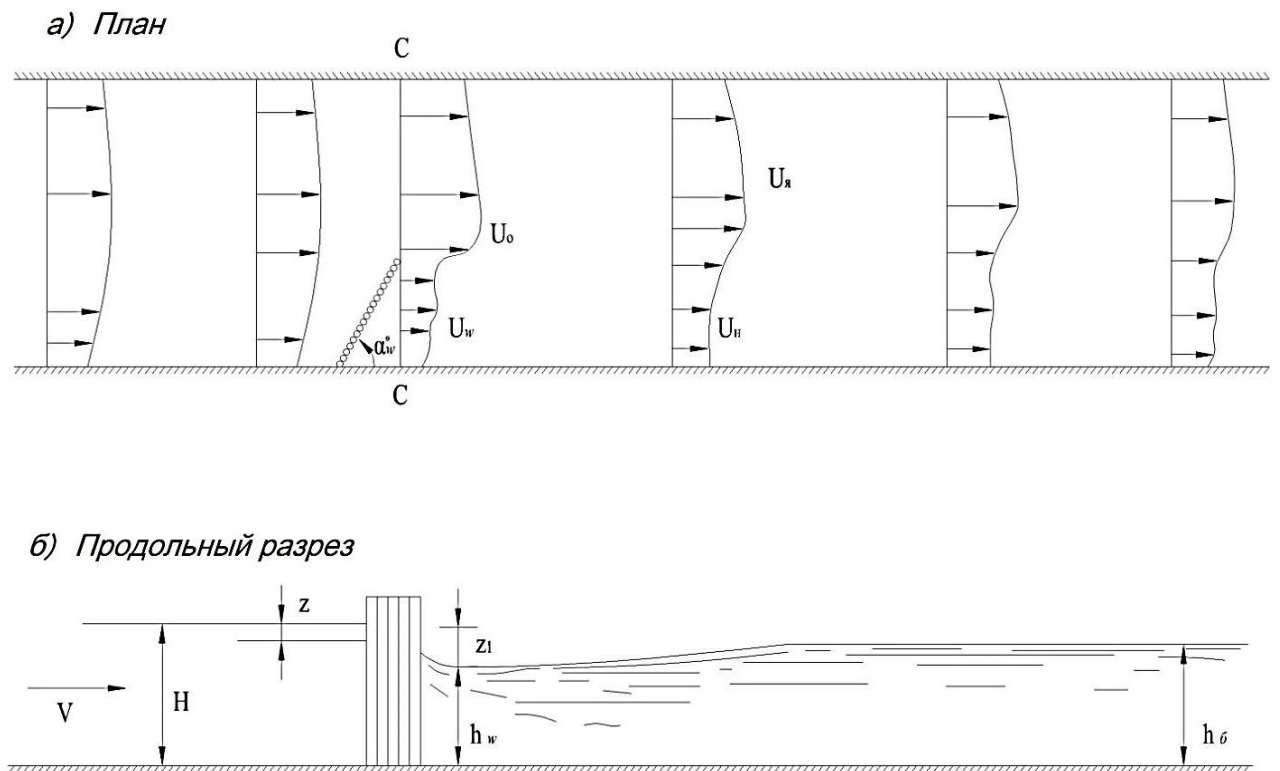


Рис.1.7. Схема потока деформированного сквозной шпорой (Бакиев М.Р.) а) план; б) продольный разрез.

пространства исследовались в работах Рахматова Н. [75, С. 24] и Хайитова Х.Ж. [88, С. 70-74; 89, С. 48]. Большое место отведено исследованию глухих сооружений и в зарубежных работах Azinfar Н. [67], Bassar Н. [13], Jennifer D. [36-40], Karami Н. [49-51], Kedar SH. [53], Koken M. [54,55,66], Mayerle К. [65], Mohammad V. [69], Roger A. Kuhnle [76-79], Safari [ 82] и др.

Работа сквозных шпор рассматривались в исследованиях Абдирасилова С.А. [1, С. 26; 2, С. 97-106; 3, С. 73-79] Бакиева М.Р., Тогуновой Н.П. [14] Жулаева Р.Ж. [42, 43] Жирнова Р.Ж. [41], Ивасюк А.Ю. [44], Кириенко И.И. [56], Саад Сиддик Слимман [ 80, 25с.], Уркинбаев Р.К. [86, С.16-26; 87, С.24], Тлявлин Р.М. [85], Yujian Li Mustafa Altinakar [90].

С помощью этих работ получены результаты с помощью которых можно рассчитать глубину местного размыва, расстояния между шпорами в системе, расчет поле скоростей потока и др. Подробный анализ этих работ приведены в работах Бакиева М.Р и его учеников.

### **1.3. Обзор существующих исследований по изучению работы комбинированных регуляционных сооружений.**

Несмотря на то, что идея строительства комбинированных дамб существует давно, впервые сведения об их работе приводятся в работах С.Т. Алтунина [9, С. 352].

В зоне взаимодействия потока и комбинированных дамб отчетливо выделяются области:

- область подпора выше створа стеснения; область сжатия потока, область между створами стеснения и сжатого сечения, где поток имеет наименьшую площадь поперечного сечения; область растекания и восстановления бытового состояния потока, спутного потока за сквозной частью (Рис.1.6).

Они впервые построены при выполнении берегозащитных работ на реке Амударья при Тахиаташском плотинном водозаборе (рис.1.5). Тогда же были разработаны основные конструктивные элементы комбинированной дамбы и типы их крепления.

Научно-обоснованная методика их расчета и проектирования впервые разработаны в работах М.Р.Бакиева [15; С.-57; 19, 22], и его учеников О. Кодирова [57, С-26], Мурадова Р. [70, С-25].

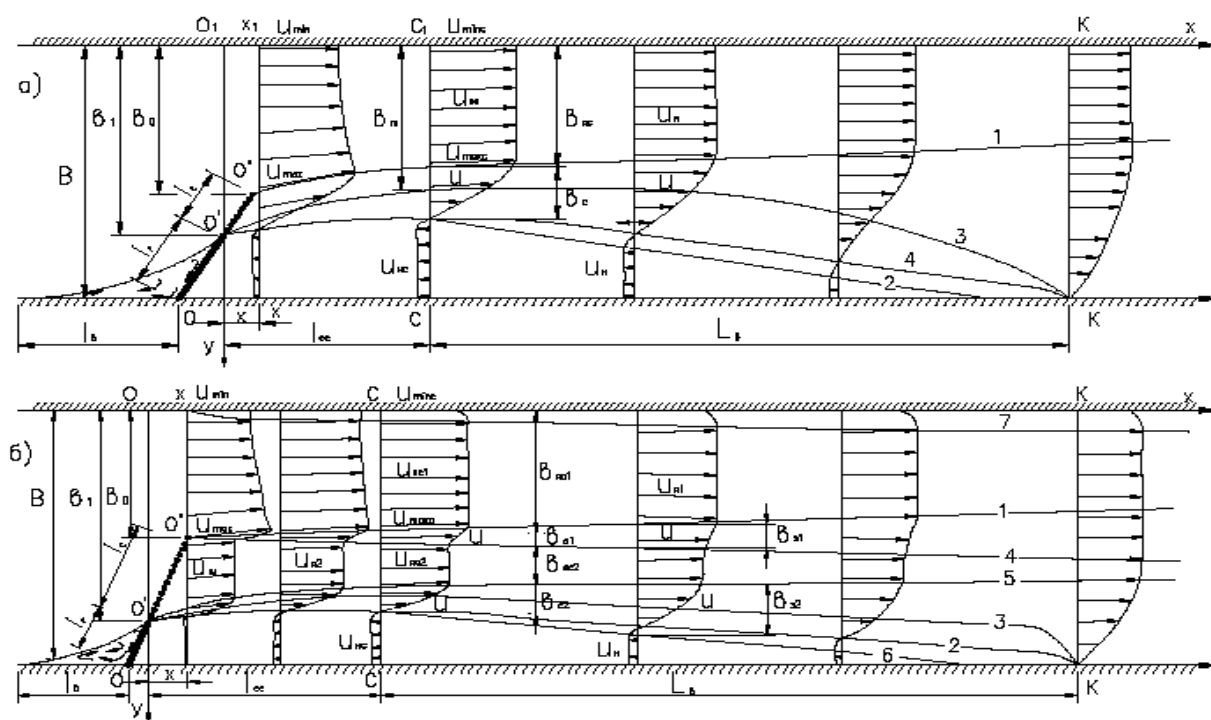


Рис.1.8. Схема растекания потока за комбинированной дамбой  
(Бакиев М.Р, Кодиров О)

В этих работах на основе экспериментальных и теоретических исследований усовершенствована конструкция комбинированной дамбы, установлены соотношения размеров глухих и сквозных частей, коэффициента застройки и угла установки дамбы; впервые изучен уровенный режим и плановые размеры потока в зоне действия дамбы, впервые дается методика расчета поля скоростей, изучено влияние конструктивных особенностей на глубину местного размыва, разработаны рекомендации по их проектированию для условий легкоразмываемых русел рек, обоснована возможность использования теории турбулентных струй при рассмотрении растекания потока за комбинированными дамбами, в частности схема деления потока на гидравлические зоны, доказана афинность поля скоростей, обнаружено что в зависимости от соотношения длин глухой и общей длины дамбы  $l_{г} = l_{ш}$  формируются одна или две зоны турбулентного перемешивания (рис.1.8) и распределения скоростей в них подчиняются зависимости Шлихтинга – Абрамовича [5, С-716].

Глубины местного размыва определяются по откорректированной формуле О. А. Каюмова [17, С-26; 52, С-30].

При неизменных значениях степени стеснения потока, числа Фруда, коэффициента застройки, глубина местного размыва у комбинированных дамб на 15-37% меньше, чем у глухих поперечных дамб.

Между тем обнаружено сосредоточение максимальных глубин размыва у оголовка глухой части дамбы.

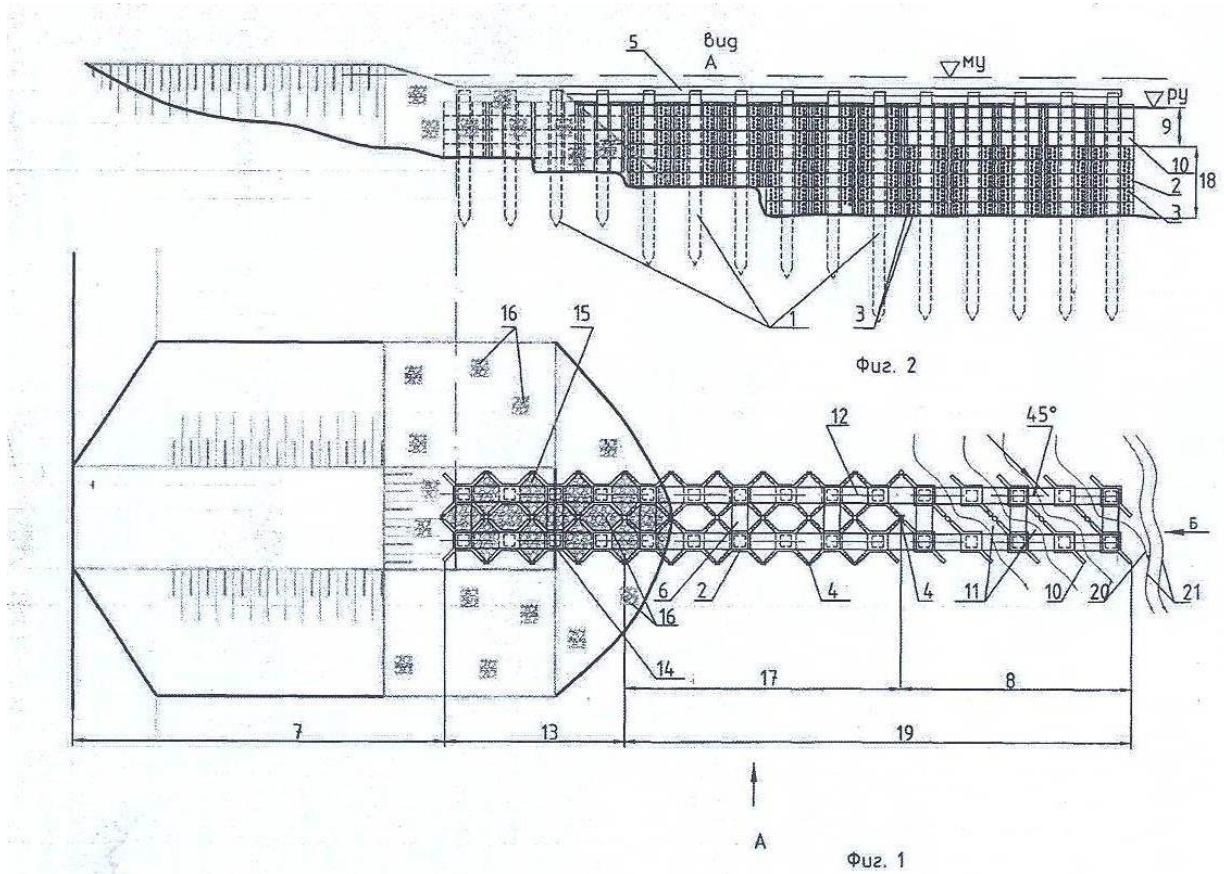
«Все решения получены для случая комбинированной дамбы выполненной с постоянным коэффициентом застройки» [30, С. 158-161], не рассмотрены вопросы перераспределения удельных расходов.

В работах Мурадова Р «Рассмотрены вопросы совершенствования конструкций и разработка методов расчета частично затопленных комбинированных дамб» [70, С-25]. Ими совместно с Бакиевым М.Р. и Шукуровой С.Э., разработана «конструкция комбинированной дамбы с постоянной застройкой с затопленной сквозной частью с мусоро отбойным щитком» [26, С. 78-82] Однако все эти исследования выполнены для условий равнинных рек и для условий предгорных рек требуется как совершенствования конструкций так и методов расчетного обоснования комбинированных дамб.

Разработана методика моделирования частично затопленной комбинированной дамбы, получены расчетные зависимости по оценке коэффициента сопротивления, методика расчета скоростного поля за частично затопленной комбинированной дамбой. Все исследования выполнены для случая, когда сквозная часть выполнена с постоянной застройкой.

В работах Бакиева М.Р. и Шукуровой С.Э. [25, С.196-201; 26, С.78-82; 27, С.39-41; 28, С.70-73; 29, С.154-157; 30, С.158-161; 32, С.230-232; 92, С.122] доказана и адаптирована «теория создания поперечной циркуляции с помощью преград, а также теория турбулентных струй к расчету комбинированных дамб; разработана новая конструкция комбинированной дамбы; разработаны новые методы расчета и «проектирования отклонения динамической оси потока стесненного комбинированными дамбами: со сквозной частью» [92, С.122] постоянной, переменной, ступенчатой застройки, с затопленной частью и новой конструкции; «разработан метод гидравлического расчета пропускной способности» [84, С.44] комбинированной дамбы и русла в створе стеснения; усовершенствован метод определения гидравлических параметров потока стесненного комбинированными дамбами, в области сжатия, в котором впервые учтены различная кинетичность потока за сквозными частями, продольные и поперечные перепады уровней; впервые разработана методика расчета растекания «потока стесненного комбинированными дамбами со сквозной частью, переменной» [26, С. 78-82], ступенчатой застройки и с водосливной частью.

Разработана новая конструкция комбинированной дамбы, которая даёт возможность создания сквозных частей с постоянной, переменной, ступенчатой застройкой; с водосливной частью, для обеспечения пропуски плавающих тел и гашения энергии потока у оголовка сооружения (№ FAP 00925); Она является капитальным сооружением и её недостаток большая стоимость.





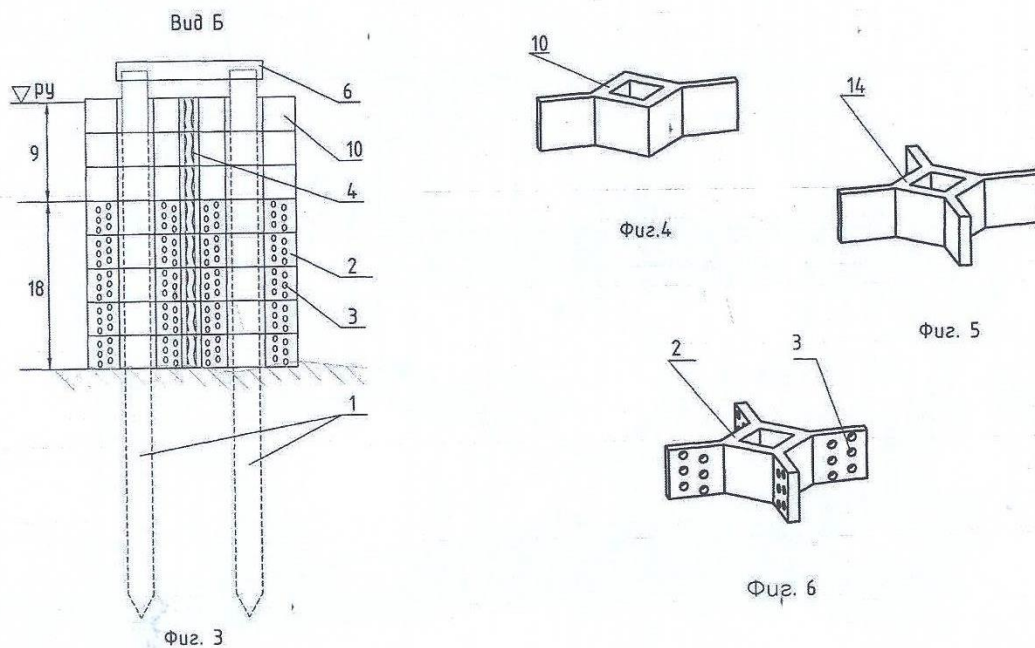


Рис.1.9. Конструкция комбинированной дамбы.  
(FAP:00925 Бакиев М.Р., Шукурова С.Э);

“Разработан новый метод расчета отклонения динамической оси потока для различных схем и конструкций комбинированных дамб оперируясь на которого при проектировании назначается трасса регулирования русла, в том числе при водозаборе; “разработан метод гидравлического расчета пропускной способности” [84, С.44] комбинированных дамб и русла в створе стеснения, “позволяющий назначать оптимальные размеры сооружения из условия” [84, С.44] пропуска максимального расхода реки;

“Разработан новый метод расчета растекания потока для комбинированных дамб, который даёт возможность рассчитать поле скоростей и длины водоворотных зон по которой определяются зоны деформации дна и назначается расстояние между дамбами в системе”. Теория создания поперечной циркуляции в открытом потоке путем перераспределения удельных расходов разработанная Р.Ж. Жулаевым [42, 43] успешно может быть использована при стеснении комбинированными дамбами различной конструкции, с целью установления, оптимальных величин системы.

Однако все эти исследования выполнены для условий равнинных рек а для условий предгорных рек требуется, как совершенствования конструкций, так и методов расчетного обоснования комбинированных дамб.

#### 1.4. Особенности предгорных рек.

При проведении теоретических и экспериментальных исследований необходимо учитывать морфологические и гидравлические особенности предгорных рек [9, С.351]. На рис.1.10 показаны гидравлические элементы предгорных рек в годовом разрезе: расходы воды, донные и взвешенные наносы, отметки дна и уровни воды, скорости потока, размеры наносов [9, С. 11].

На рис.1.11 приведены гидрографы некоторых предгорных рек в зависимости от питания реки: снегово-ледникового, снегово-дождевого, дождевого-снегового.

Как видно из рис.1.12 уклоны предгорных рек изменяются от 0,001 до 0,004 тогда как на равнинных пределах 0,000125 .

При моделировании очень важное место занимает отношение ширины потока к его глубине. Это соотношение для наших предгорных рек меняется от 22 до 45 (рис.1.13).

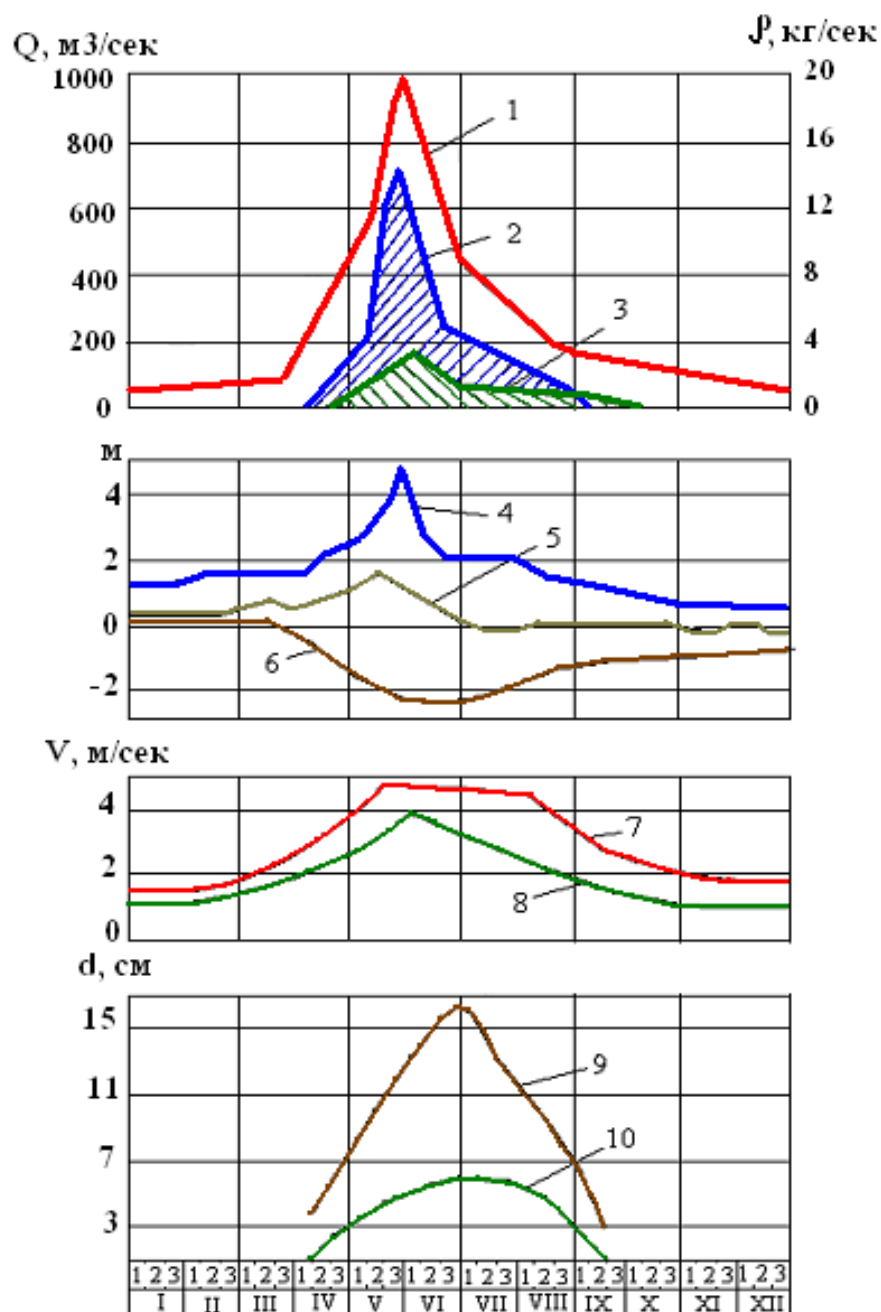


Рис.1.10.» Гидравлические элементы реки на предгорном участке реки по С.Т.Алтунину: 1-расход воды; 2-взвешенные наносы; 3-донные наносы; 4-уровень воды; 5-средняя отметка дна; 6-низшая отметка дна; 7-максимальная поверхностная скорость; 8-средняя скорость; 9-диаметр наиболее крупных перемещаемых камней; 10-средний диаметр камней» [9, С.11].

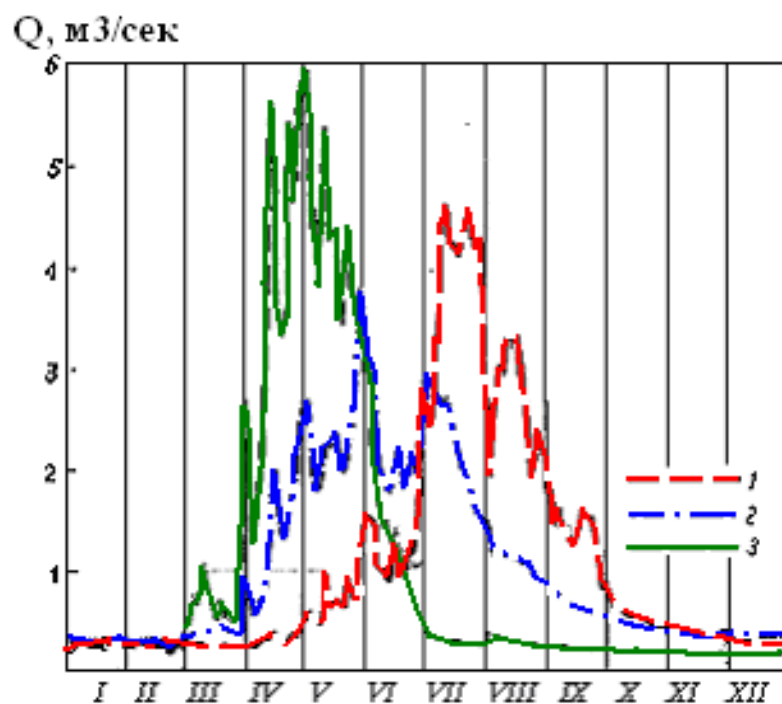


Рис.1.11. Гидрографы предгорных рек.  
1-Сох, 2-Чирчик, 3- Ахангаран.

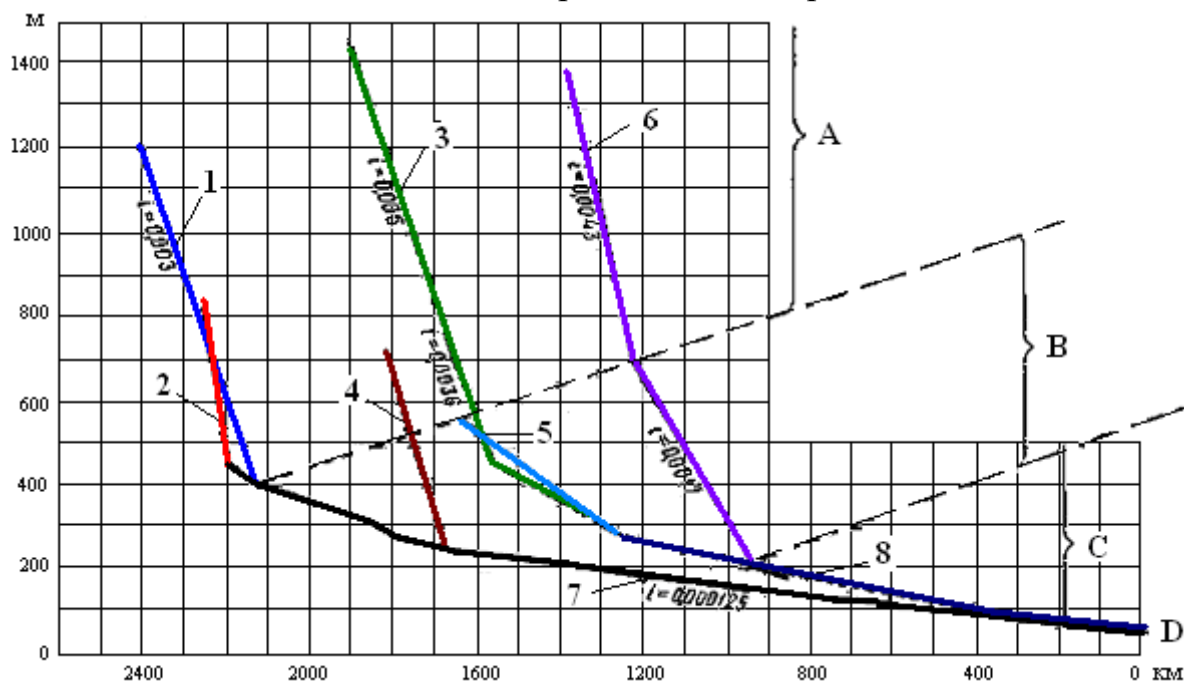


Рис.1.12. Продольные профили больших рек Средней Азии(Алтунин С.Т).  
1-Нарын, 2-Карадарья, 3-Вахш, 4-Чирчик, 5-Пяндж, 6-Зарафшан, 7-Сырдарья,  
8-Амударья, А-высокогорные и горные участки, В-предгорные участки,  
С-среднее и нижнее течение, D-Аральское море[9, С.19].

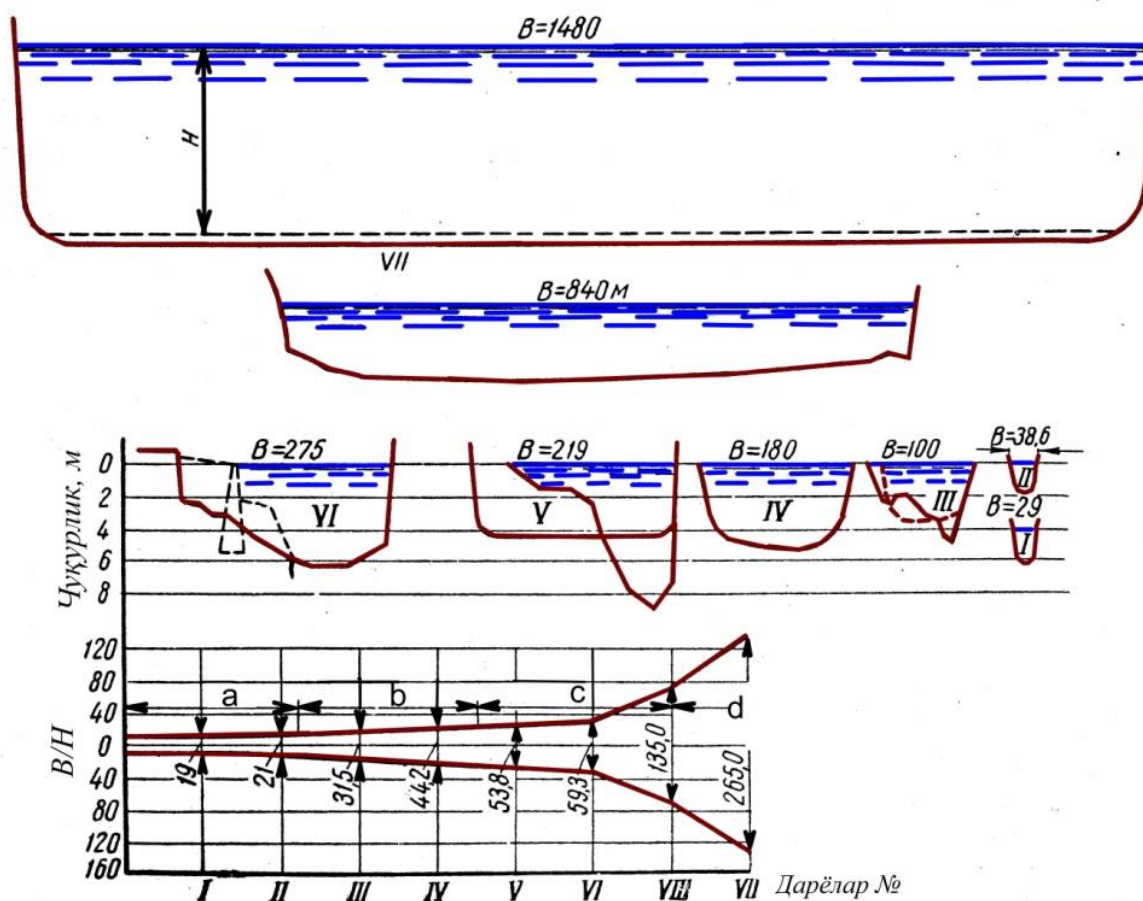


Рис.1.13. Поперечные профили рек на горных, предгорных и равнинных участках в половодье. I – Сох, II – Сох, III – Карадарья, IV – Сырдарья в среднем течении V – Сырдарья в нижнем течении, VI – Дунай, VII – Амударья, VIII – Волга [9, С.20].

Показательным является «гидротехническая классификация устойчивых участков рек для руслоформирующего расхода 3-10% обеспеченности по С.Т.Алтунину» [9, С.31].

Согласно этой классификации предгорные участки рек характеризуются условиями выхода из горных участков. Как правило их русло сложено из песка, гравия и гальки. Обычно поток протекает в спокойном состоянии. Коэффициент Лохтина больше 6, число Фруда колеблется от 0,2 до 0,5. Дальнейшие разработки будут вестись в пределах этих характеристик потока и русла.

### Выводы по главе 1.

1. Общеметодологические и научно-технические основы строительства комбинированных регуляционных сооружений изложены в работах С.Т. Алтунина [9].

2. Научно-обоснованная методика расчета и проектирования комбинированных дамб впервые разработаны в работах М.Р.Бакиева [15, 19, 22] и его учеников О. Кодирова [57], Р. Мурадова [70], С.Э. Шукуровой [25-32, 92]. Однако все эти решения получены для условий равнинных рек а также для комбинированных дамб со сквозной частью из свай.

3. Требуется совершенствования сама конструкция, так как многие из них разработаны для условий равнинных рек, тогда как для предгорных участков требуется особые конструкции.

4. В исследованиях М.Р.Бакиева и его учеников доказана возможность применения и успешно использована теория турбулентных струй. Остается нерешенным установление закономерностей растекания потока за комбинированной дамбой на предгорных участках рек.

5. Теория создания поперечной циркуляции в открытом потоке путем перераспределения удельных расходов разработанная Р.Ж. Жулаевым [42, 43] успешно может быть использована при стеснении комбинированными дамбами различной конструкции, с целью установления, оптимальных величин смещение оси потока.

6. Государством Республики Узбекистан уделяется достаточное внимание, и выделяются средства по недопущению и устранению противопаводковых и строительству защитных сооружений на крупных реках Амударья, Сырдарья, а также на их притоках. Требуется постоянное совершенствование, как конструкций защитных сооружений, так и их методов расчета и проектирования.

## **ГЛАВА 2. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ. ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ДАМБ. НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

### **2.1. Постановка вопроса и задачи исследований.**

В мире, и в Узбекистане в частности тратятся огромные средства на берегозащитные мероприятия. Значительны и траты и на восстановительные работы после селевых паводков. Эти работы проводятся не только на наших крупных равнинных реках Амударья и Сырдарья так и предгорных участках рек Чирчик, Нарын, Ахангаран. Несмотря на наличие многочисленных конструкций и исследований приведенных в первой главе, частые повреждения построенных сооружений говорят как о несовершенстве их конструкций так и методов их расчетного обоснования. Протекания потоков на предгорных участках рек требует особого подхода к выбору конструкций а также методам их расчета [27, С.39-41; 80, С. 25] с учетом морфологии и гидравлических характеристик потока.

Введение в поток регуляционных сооружений, в том числе комбинированных, еще больше усложняет протекания русловых процессов. Прогноз этих изменений является первостепенной задачей.

Создание новых и усовершенствование существующих конструкций комбинированных дамб, создания теоретической основы их расчета для условий предгорных участков требует проведения обширных исследований.

Данное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Законе Республики Узбекистан «О безопасности гидротехнических сооружений» (1999), Стратегии действий по пяти приоритетным направлениям развития Узбекистана в 2017-2021 годах, утвержденной Указом Президента Республики Узбекистан УП-4947 от 7 февраля 2017 года, Постановлении Кабинета Министров Республики Узбекистан №13 от 21 января 2014 года «Об утверждении Программы по стабилизированному и безопасному пропуску вод по водотокам Республики Узбекистан на 2014-2015 годы и на перспективу до 2020 года», Протоколе собрания правительственной комиссии № 01-25/14-15 от 22 декабря 2020 года «По обеспечению безопасного пропуска паводковых и селепаводковых вод по водотокам, уменьшению опасности от лавин и оползневых явлений» в 2021 году а также в других нормативно-правовых документах принятых в этом направлении.

**Целью исследования** является совершенствование конструкций, методов расчета и проектирования комбинированных дамб на предгорных участках рек.

**Задачи исследования:**

- разработка теоретической основы расчета комбинированных дамб с водопропускной частью из тетраэдров;
- разработка новой конструкции комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров;
- установления физического механизма взаимодействия потока и новой конструкции;
- разработка методики расчета смещение оси потока под воздействием комбинированной дамбы с тетраэдрами;
- разработка метода гидравлического расчета пропускной способности русла в створе стеснения;
- совершенствование метода расчетного обоснования гидравлических параметров потока стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров, в области сжатия и растекания;

**2.2. Предпосылки создания комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров.**

Обычно комбинированные дамбы состоят из глухих и сквозных частей (Рис.2.1, 2.2, 2.3, 2.4)

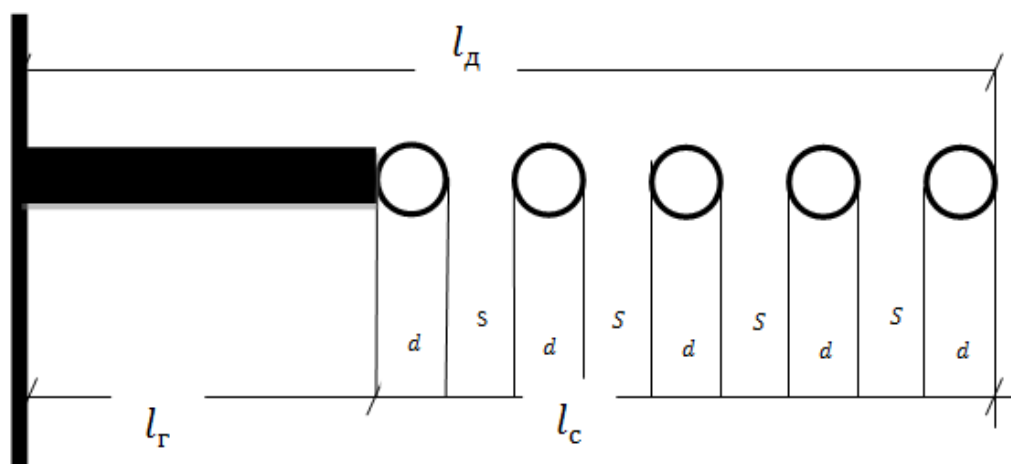


Рис.2.1. Схема комбинированной дамбы со сквозной частью из свай, с постоянной застройкой [27, С.39-41] (Шукурова С.Э.)



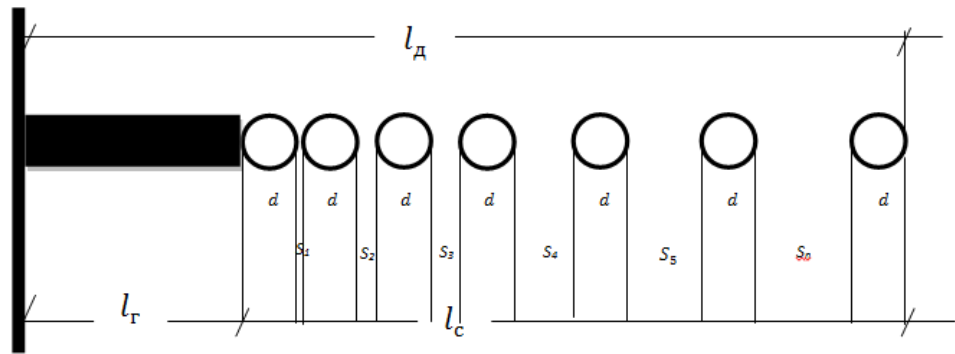


Рис.2.2. Комбинированная дамба со сквозной частью из свай, с переменной застройкой [27, С.39-41] (Шукурова С.Э.)

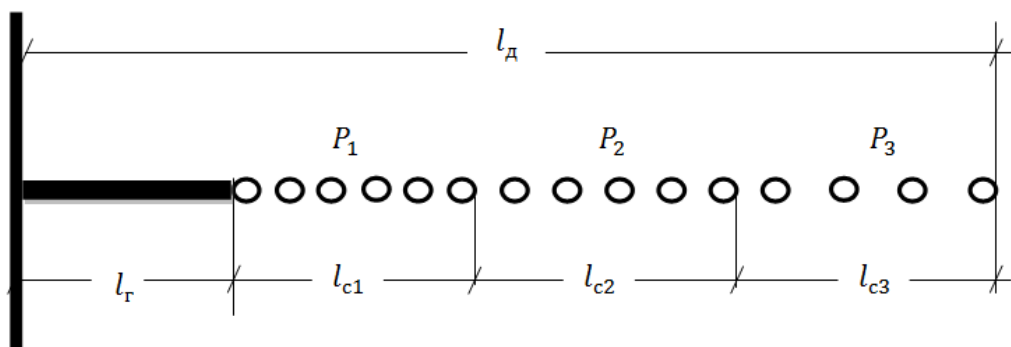


Рис.2.3. Комбинированная дамба со сквозной частью из свай со ступенчатой застройкой [27, С.39-41] (Шукурова С.Э.)

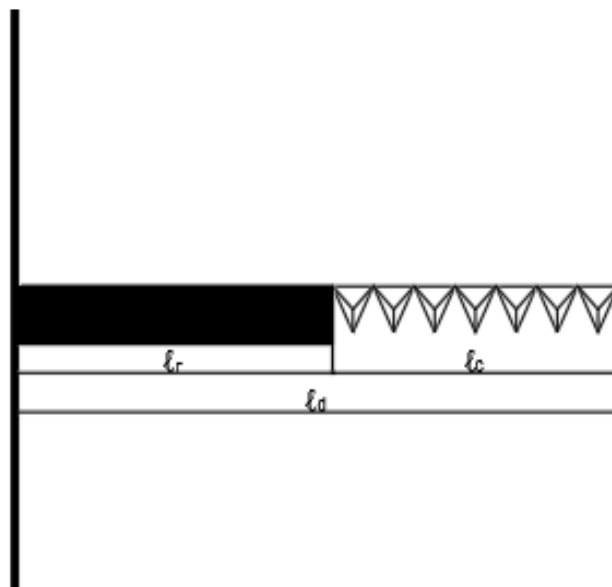


Рис.2.4. Предлагаемая схема комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров (Халимбетов А.Б.)

В общем случае коэффициент застройки представляет собой отношение площади занятой элементами сооружения на площадь перекрытой дамбой и для свайных комбинированных дамб вычисляются по следующим зависимостям

$$+ \frac{g \cdot b_0}{2} (h_0^2 + h_{yx}^2) - \frac{g \cdot l_d \sin \alpha_d}{2} (h_x^2 + h_s^2) \quad (2.1)$$

Коэффициент сквозности представляет собой отношение площади сквозной части к общей площади, перекрытой дамбой.

$$P_c = \frac{W_c}{W} = \frac{(S_1 + S_2 + \dots + S_n)H}{(\ell_r + dn + S_1 + S_2 + \dots + S_n)H} \quad (2.2)$$

Обычно связь между ними выражается зависимостью

$$P_c = P_3 \frac{S}{d} \quad (2.3)$$

Где  $W_3$ ,  $W_c$ ,  $W$  – площади занятой глухими элементами, сквозной части и общая. Очевидно  $W_3 + W_c = W$ ;  $\ell_r, \ell_c$  – длина глухой и сквозных частей дамбы;  $d, S$  – диаметр и просвет между сваями;  $n$  – количество свай;  $H$  – глубина воды.

В случае когда сквозная часть выполнена из тетраэдров гидравлический коэффициент застройки тетраэдров определяется по рекомендациям Ишаева Ф.Ш. [48].

$$P = \frac{Ad}{\ell} \cdot N^{3/4} \cdot K \quad (2.4)$$

где:  $A=3$  при установке тетраэдров в шахматном порядке;  $A=5$  при рядовой установке тетраэдров; (Рис.2.5)  $d$  – сторона квадратного сечения или диаметр балки м;  $\ell$  – длина балки;  $N$  – число рядов тетраэдров в сооружении;  $K=0,7$  опытный коэффициент (при однорядной установке  $K=1$ )

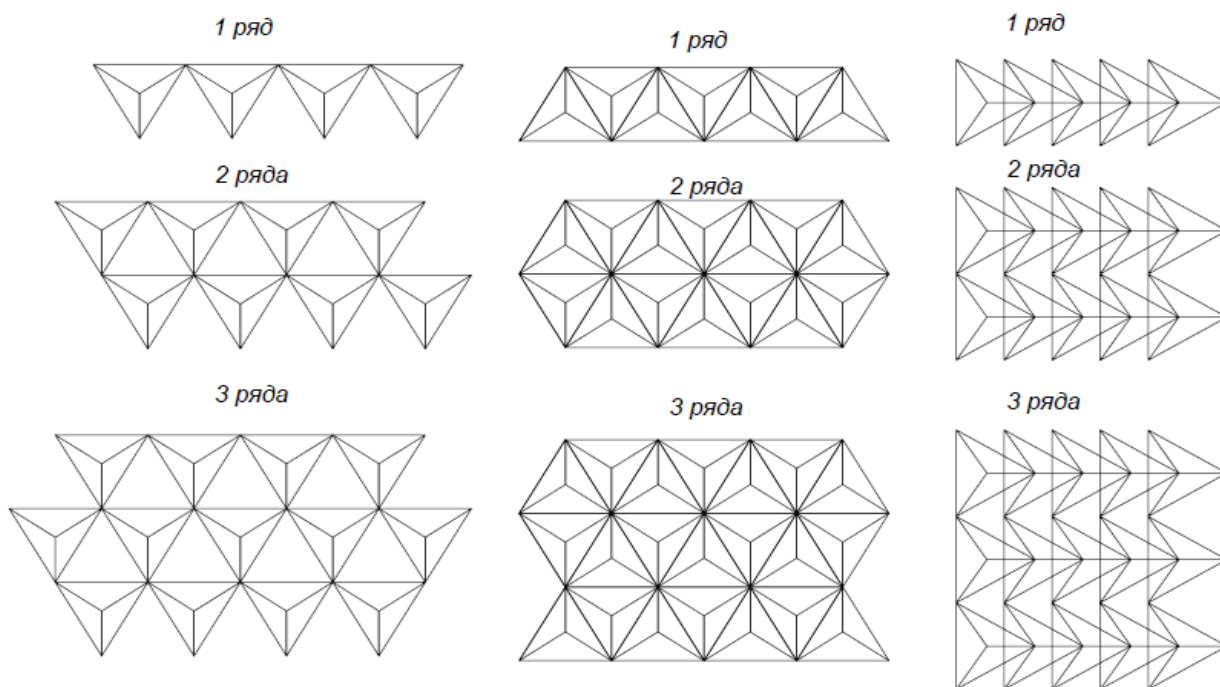


Рис.2.5. Виды установки тетраэдров в шпорах и дамбах (Ишаев Ф.Ш.)

При елочной установке

$$P = K_1 \cdot W_m \cdot b_s \quad (2.5)$$

$W_m$  – объём материала, заполняющего единицу объёма тела сооружения по внешнему обмеру;  $b_s$  – средняя ширине сооружения в м;  $K_1 = 1,1$  опытный коэффициент.

### 2.3. Новая конструкция комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров.

Конструкции берегозащитных сооружений многочисленны, только на реке Амударья построены и испытаны более 50 конструкций. Тем не менее частое разрушения построенных сооружений настоятельно указывает на совершенствования их конструкций так и методов расчета [30, С.68-71]. Так что создания новых конструкций остаётся приоритетней задачей.

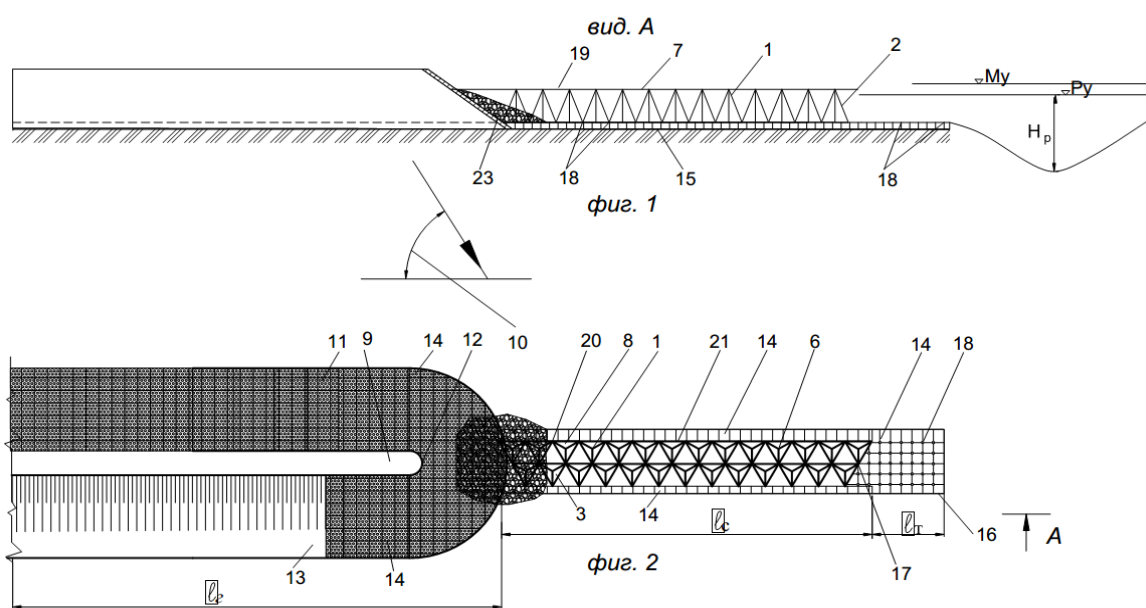
Известно [48, С. 123] конструкция сквозной берегозащитной шпоры состоящей: из тетраэдров выполненных из шести железобетонных балок одинаковой длины, установленных на дне водоема шахматная, рядовая, ёлкой, оголовки тетраэдров связаны гибкой связью на которых крепится наклонные сетки для удержания плавающих тел при шахматной установке тетраэдров.

Недостатком их является маленький гидравлической коэффициент застройки недостаточное предотвращение возможности обхода с корня, недостаточная эффективность защиты берега.

Другим недостатком следует считать значительную материалоемкость в случае большой длины сооружения и участка защиты.

Нами предлагается новая конструкция берегозащитного сооружения комбинированного типа, повышающая эффективность защиты берега, которая служит для увеличения длины защищаемого участка, уменьшение глубины размыва у оголовка и удержание части плавающих тел и за счет этого увеличение коэффициента гидравлической застройки (рис. 2.6, 2.7).

Решения задачи обеспечивается созданием конструкции берегозащитной шпоры состоящей из тетраэдров 1 выполненных из шести железобетонных балок 2 одинаковой длины, установленных на дне водоема шахматная 3, рядовая 4 или ёлкой 5, оголовки тетраэдров 6 связаны гибкой связью 7 на которых крепятся наклонные сетки 8 при шахматной установке



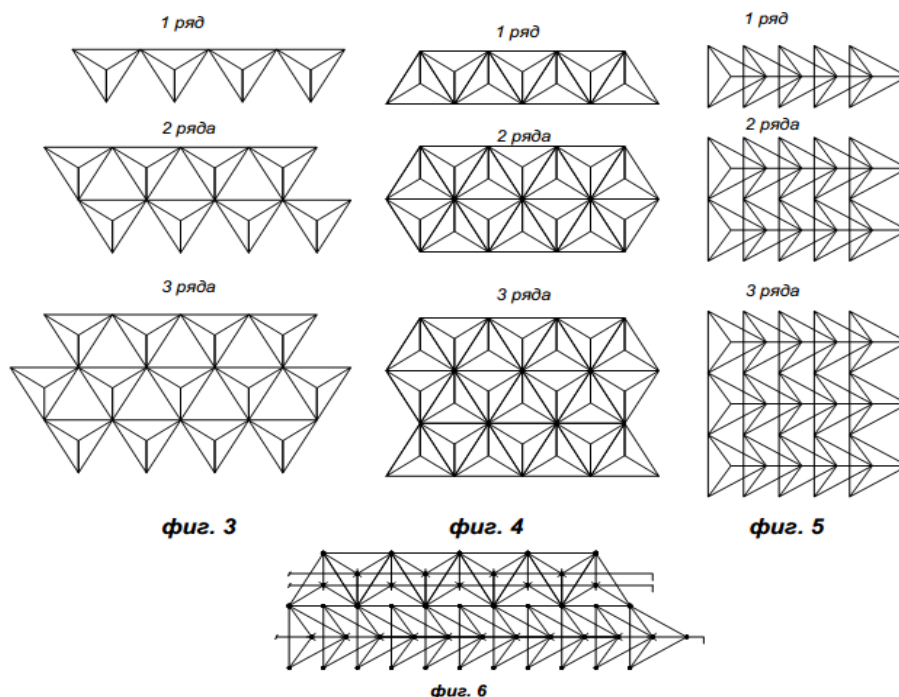
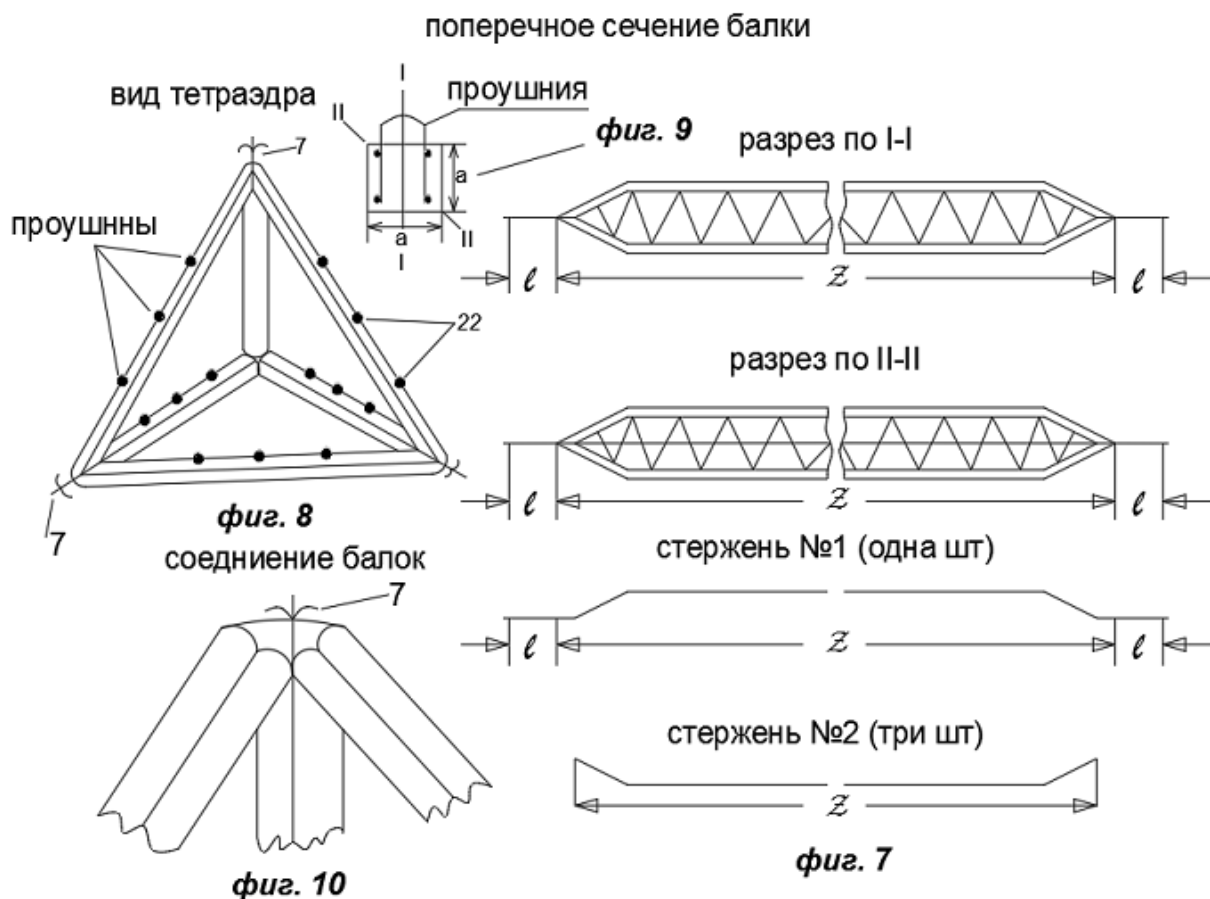


Рис.2.6. Новая конструкция комбинированной дамбы: фиг.1-вид А; фиг.2 план; фиг.3 шахматная установка тетраэдров; фиг.4 рядовая установка тетраэдров; фиг.5 ёлочная установка тетраэдров; фиг.6 комбинированная установка тетраэдров.



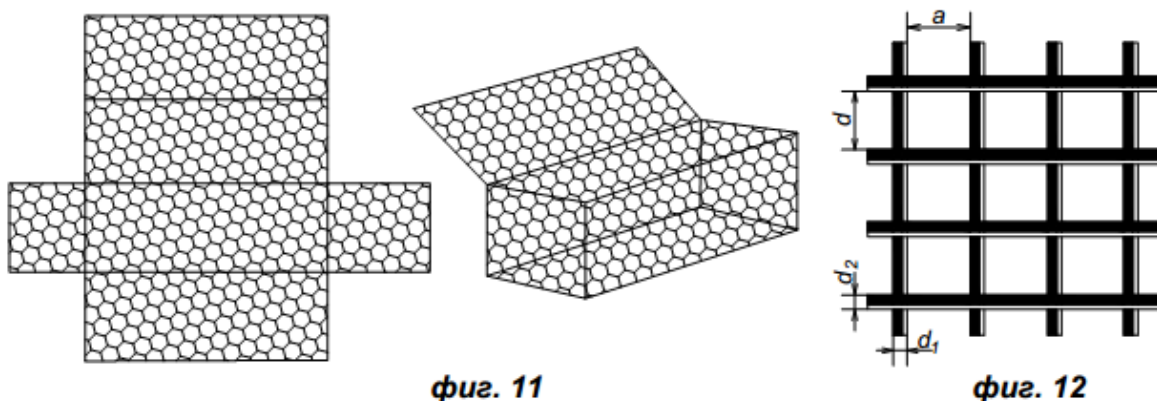


Рис. 2.7. Конструктивные элементы комбинированной дамбы: фиг.7 арматурный чертёж; фиг.8 вид тетраэдра; фиг.9 проушния; фиг.10 соединение балок; фиг.11 габионная сетка; фиг.12 решетка.

тетраэдров, отличающаяся тем, что корневая часть дамбы выполнена глухой из местного грунта 9 установленной под углом  $60^{\circ}$ - $75^{\circ}$  к направлению потока 10 с креплением верхового откоса 11, оголовка 12 и 1/4 части низового откоса 13 габионами 14, а сквозная часть выполнена из тетраэдров шахматная, рядовая, ёлкой или комбинированная установка на фундаменте 15 из тех же габионов, с тюфяком 16 длиной 1,5 глубины местного размыва у оголовка сквозной части 17, при этом тетраэдры с фундаментом, по верху и по низу а также габионы между собой прикреплены гибкой связью 18, причем с напорной стороны сквозной части 19 натянута сетка выполненная двухступенчатым живим сечением малым 25% в начале сквозной части 20, нормальным 25-50% в середине 21 и закрепленных по верху и по низу тетраэдров и на проушинах 22 установленных в теле балок с наружной стороны через одной четверти их длины, на участке, примыкающем к глухой части шпоры пространство между первым и вторым рядом и внутри тетраэдров заполнено камнем 23.

Все эти признаки относятся к существенным и являются необходимыми для получения технического результата – обеспечения защиты берега, и находятся в следующей причинно-следственной связи с указанным результатом: глухая часть из местного грунта полностью отклоняет поток от защищаемого берега, уменьшает риск обвода потоком с корня, уменьшает материалоемкость сооружения, принятый угол  $60^{\circ}$ - $75^{\circ}$  обеспечить лучшую обтекаемость, в нижнем бьефе за глухой частью создается водоворотная зона защищающая берег от размыва, на участке, сквозная часть из тетраэдров примыкающем к глухой части шпоры

пространство между первым и вторым рядом и внутри тетраэдров заполнено камнем и обеспечит лучшую защиту оголовка глухой части от размыва, сквозная часть выполнена из тетраэдров на фундаменте из габионов, их оголовки, основания, габионы связаны гибкой связью, наличие металлической сетки выполненная двухступенчатым живым сечением малым 25% в начале сквозной части 20, нормальным 25-50% в середине и закрепленных по верху и по низу тетраэдров и на проушинах установленных в теле балок с наружной стороны через одной четверти их длины, и комбинированная установка увеличивает коэффициент гидравлической застройки, обеспечивает уменьшение скоростей до не размываемых, наличие крепления откосов, тьюфяка из габионов лучше защищает от размыва.

Полезная модель осуществляется в период малых вод: из условия размещения шпоры разрабатывается котлован, производится снятие растительного слоя глубиной 0,5 м при необходимости могут быть выполнены водоотводные работы с последующей засыпкой ям местным гравелисто-галечниковым грунтом.

Назначается ось глухой части, места установки рядов тетраэдров, параллельно могут начаться работы по возведению насыпи глухой части 9, и фундамента 15 сквозной части и тьюфяка 16 из габионов 14, также монтаж тетраэдров 1 из отдельных балок 2 и связываются гибкой связью 18, готовые тетраэдры на место установки подаётся автокраном с грузоподъёмностью не мене 5 тонн или монтаж балок могут производятся непосредственно на месте установки сооружения с краном меньшей грузоподъёмностью, габионы изготавливается в заводских условиях и привозят на место строительство где осуществляется наполнения их камнем и монтаж затем закрепляя гибкой связью. На участке, примыкающем к глухой части шпоры пространство между первым и вторым рядом и внутри тетраэдров заполняется камнем 23. Оголовки 6 и основания тетраэдров закрепляются гибкой связью между собой и с фундаментом 18. Производится монтаж металлических сеток 8 на напорной стороне на длине 1/3 участка, примыкающем к глухой части шпоры с малым живым сечением 25%, затем на второй 1/3 с нормальным живым сечением 25-50% всей площади сетки. Это даёт возможность плавному отклонению потока, удержанию части плавника и пропуск частично через головную сквозную часть.

Берегозащитная шпора работает следующим образом: поток, приходящий на длине глухой части 9 полностью отклоняется от защищаемого берега, благодаря тому, что на участке примыкания сквозной части с глухой частью 12 а пространство 15 между первыми двумя рядами и внутри тетраэдров заполнены камнем 23 оголовки глухой части лучше

защищен от размыва. Кроме этого за глухой частью 9 формируется водоворотная зона длиной 3-4 длины глухой части, что способствует повышению эффективности работы сооружения в целом. Сквозная часть отклоняет часть потока в сторону головы шпоры, а часть проходить через тело, где теряют часть энергии.

Сквозная часть, при максимальных расходах (МУ), может работать и в затопленном режиме.

В процессе подмыва тюфяк из габионов оседают под собственным весом, а наличие гибкой связи обеспечивает их рабочее состояние.

#### **2.4. Экспериментальная установка, измерительная аппаратура и методика исследований.**

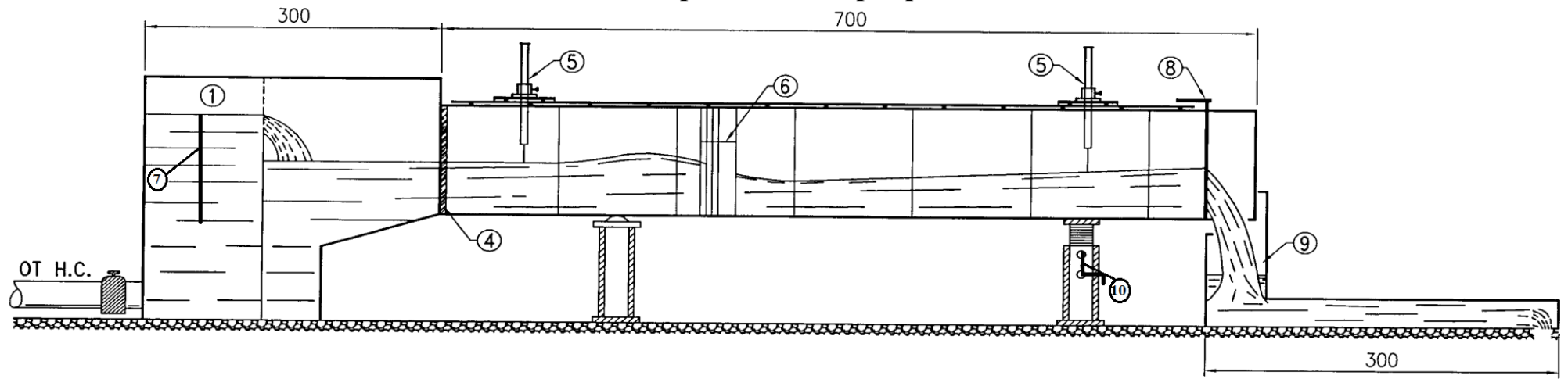
**Экспериментальная установка:** Эксперименты проводились в лаборатории кафедры «Гидротехнические сооружения и инженерные конструкции» [84,С.44] НИУ«ТИИМСХ» на лотке с размерами 40\*75\*800см.

Лоток (рис.2.8) с длиной рабочей части 600 см, имеет стеклянные стенки и оштукатуренное дно. Для облегчения визуальных наблюдений на дне лотка нанесена квадратная сетка с размерами 5\*5 см. вода подается из насосной станции в водозаборный бассейн, затем по трубопроводам подается в бак (1), проходит через треугольный водослив (2) и успокоительную систему (3) и поступает в лоток (4). Глубина воды в лотке регулировалась с помощью жалюзей (8) установленных в конце лотка. Вода, в нижнем бьефе попадает в отводящий бак (9) оттуда в бассейн (10). Напор на пороге водослива определяется с помощью пьезометра (7).



Модельная установка.

Продольный разрез



ПЛАН

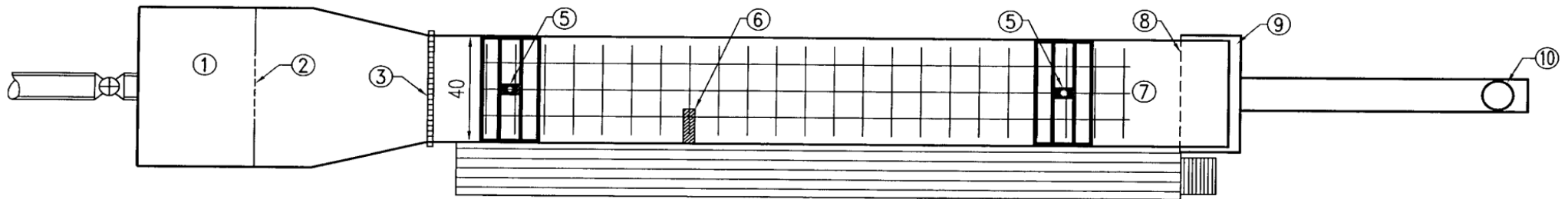


Рис.2.8.1-бассейн. 2-водослив. 3-решетка. 4-лоток. 5-мерная игла. 6-дамба (шпора). 7-пьезометр. 8-жалюзи. 9-отводящий бак. 10-водосброс тележка. 11-устройство для изменения уклона лотка.



Рис.2.9. Проведение опытов



Рис.2.10.Схема установки комбинированной дамбы.

На модели установлена передвижная тележка для замера, движущаяся по горизонтальным рельсам, вмонтированным вверху на стенках лотка. Уклон лотка изменялся и фиксировался специальным устройством нивелированием.

**Измерительная аппаратура.** Скорости течения потока измерялись микровертушкой системы САНИРИИ с электронным датчиком ЦИСНВ-5. Работа приборов основана на измерении количества импульсов, вырабатываемых датчиком за определенное время: 1, 10, 50, 100 секунд. Датчик преобразовывает вращение микровертушки в электрические колебания, которые на блоке преобразования моделируются, детектируются и формируются импульсы. Затем импульсы в счетном блоке расшифровываются, и вводится информация на индикатор. На табло прибора отображается информация, т.е. скорость в см/сек. Исправность прибора проверяется комбинированным генератором в режиме «контроль». Точность измерения данного прибора составляет  $\pm 5\%$ . Прибор тарирован на тарировочной установке.

Осредненные скорости в характерных точках определяются по формуле:

$$\bar{U} = \frac{\sum_1^n U}{n} \quad (2-1)$$

где  $U$  – скорость течения потока в характерной точке за определенное время,  $n$  – количество замеров скоростей.

Для контроля уровней воды в начале и в конце рабочей части лотка установлены стационарные шпигельмасштабы (точность измерения до  $\pm 0,1$  мм). Глубина и уровень потока измерялись с помощью мерной иглы, перемещающейся на тележке по горизонтально установленным рейкам, закрепленным на лотке.

Для определения планового размера потока, стесненного комбинированной дамбой применяли раствор калия перманганата, алюминиевую пудру и поплавки.

**Методика проведения и обработка результатов экспериментальных исследований.** Экспериментальные исследования проводились по общепринятой методике [15, 25] при следующих параметрах потока и сооружений:

- уклон лотка 0.001 до 0.004;

- степень стеснения потока по площади  $n_w = (\ell_r + \ell_c P) \sin \alpha_d / B$

где  $B$  – ширина русла в бытовом состоянии;

$\ell_c$  – длина сквозной части дамбы;

$\ell_r$  – длина глухой части дамбы;

$P$  – коэффициент застройки сквозной части дамбы:

- угол установки дамбы  $\alpha_d = 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ;

- соотношение сквозной части ( $\ell_c$ ) к общей длине дамбы ( $\ell$ )

$$\ell_c/\ell_d = 0,1 - 0,5$$

- отношение ширины потока к глубине  $B/h > 6$ ;

- число Фруда в бытовом состоянии потока изменялось в пределах  $Fr_\delta = 0,1 \dots 0,5$

- во всех опытах поддерживался турбулентный режим с числом Рейнольдса  $Re = V_\delta \cdot h_\delta / \nu > 10^4$  (здесь  $\nu$  – кинематический коэффициент вязкости жидкости).

Экспериментально исследовались границы верховой и низовой водоворотных зон, продольные и поперечные перепады глубин, скорости и направления течения. Границы и длины водоворотных зон устанавливались с помощью поверхностных и донных поплавков, а также введением в поток краски.

Для замера длины верховой водоворотной зоны поплавок пускались несколько выше начала этой зоны, а для замера длины низовой водоворотной зоны поплавок пускались у оголовка глухой части и у головы дамбы.

Вследствие значительного колебания длины водоворотной зоны в нижнем бьефе ее среднее положение устанавливалось длительными наблюдениями (15-20 мин) за подкрашенными струями у стенок лотка. Краска вводилась с помощью пипетки. Поскольку длина водоворотной зоны в нижнем бьефе по глубине меняется, фиксировались положения как средних, так и поверхностных и донных струй. Граница раздела между транзитным потоком и водоворотной областью устанавливались из условия постоянства расхода.

После предварительного установленных плановых размеров деформированного потока производилась разбивка на отдельные створы и вертикали. Замеры в обязательном порядке производились в створах максимального подпора – МП, стеснения ОО, планового ПС и вертикального сжатия – ВС и в конце водоворотной зоны – КК (рис.2.10).

Количество промерных вертикалей назначили в области подпора и сжатия через (2÷2,5 см), а области растекания через (5÷10 см).

После назначения положения створов и промерных вертикалей измерялись отметки свободной поверхности и скорости течения потока. Причем за окончательные отметки принимались среднеарифметические, из

замеров устанавливались продольные и поперечные перепады уровней воды в верхнем бьефах дамбы.

В зависимости от глубины потока измерения скоростей на вертикалях производились трех-пятиточечным способом. По данным измерений строили эпюры скоростей по вертикали. Средняя скорость на вертикали вычислялась делением площади эпюры на глубину воды на вертикали:

$$U_{cp} = \frac{W}{h} \quad \left\{ \begin{array}{l} 3 \text{ точках} \\ 5 \text{ точках} \end{array} \right. \quad (2-6)$$

где  $W$  – площадь эпюры скорости, см<sup>2</sup>

$h$  – глубина воды на вертикали, см.

В точках измерения скорости одновременно измерялись и направление вектора скоростей, с использованием шелковой нитки закрепленной к микровертушке. Так как направление вектора скоростей по глубине меняется, среднее значение угла между направлением вектора скоростью и осью лотка по вертикали вычислялось по формуле И.И.Розовского

$$\varphi_{cp} = \frac{\sum \varphi \Delta h \bar{U}}{\sum \Delta h \bar{U}} \quad (2-7)$$

где:  $\varphi$  – угол между направлением вектора скорости и осью лотка в измеряемой точке, град;

$\Delta h$  – расстояние между точками измерения скорости по глубине, см.

По вычисленным значениям  $U_{cp}$  и  $\varphi_{cp}$  была построена эпюра планового распределения скорости по створам на исследуемом участке.

По распределению средних скоростей и глубин потока на вертикали строятся эпюры элементарных расходов воды в бытовом состоянии, который оказался равным расходу подаваемому на модель с разницей не более  $\pm 5\%$ .

## 2.5. Некоторые результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились для вскрытия физического механизма взаимодействия потока и комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров а также для сравнения с теоретическими решениями.

Наши экспериментальные исследования показали, что обтекание водным потоком поперечной комбинированной дамбы (шпоры) происходит образованием областей: подпора, планового и вертикального сжатия и растекание и формируется спутный поток за сквозной частью. В областях

сжатия происходит дальнейшее вертикальное и плановое сжатие потока, наблюдается увеличение скоростей, образуются продольные и поперечные перепады давлений (рис. 2.11-2.13).

Ранее для условий рек [15, С. 57; 17, С. 26] констатировались совпадения створов вертикального и планового сжатия потоков, когда  $n < 0,35$ ;  $Fr < 0,35$ . При  $n > 0,35$   $Fr > 0,35$  створ вертикального сжатия продвигается вниз по течению.

При наличии уклона  $i_d > i_{кр}$ , характерных для предгорных участков рек местоположения этих створов не совпадают при всех рассмотренных случаях.

Вертикальное сжатие потока продолжается и за створом планового сжатия. Этот вывод согласуется и с данными М.М.Овчинникова [73, С. 21-29], выполненных для порожистых участков рек Сибири.

Положение створа ВС вертикального сжатия при уклонах  $i = 0,004$  при достаточной кинетичности потока  $Fr > 0,30$  иногда выходит за пределы водоворотной зоны. При уклонах  $i = 0,002 \div 0,004$  в области растекания формируется два режима:

- а) «спокойный» при  $n < 0,3$   $Fr_6 < 0,15$ ;
- б) «критический» при  $n > 0,3$   $Fr_6 > 0,15$ ;

В первом случае глубина воды в створе вертикального сжатия  $h_{сж} > h_{кр}$  где  $h_{кр}$  критическая глубина бытового потока. Во втором случае глубина воды в створе вертикального сжатия  $h_{сж} \leq h_{кр}$ .

За сжатым сечением поток растекается и скорости уменьшаются вниз по течению.

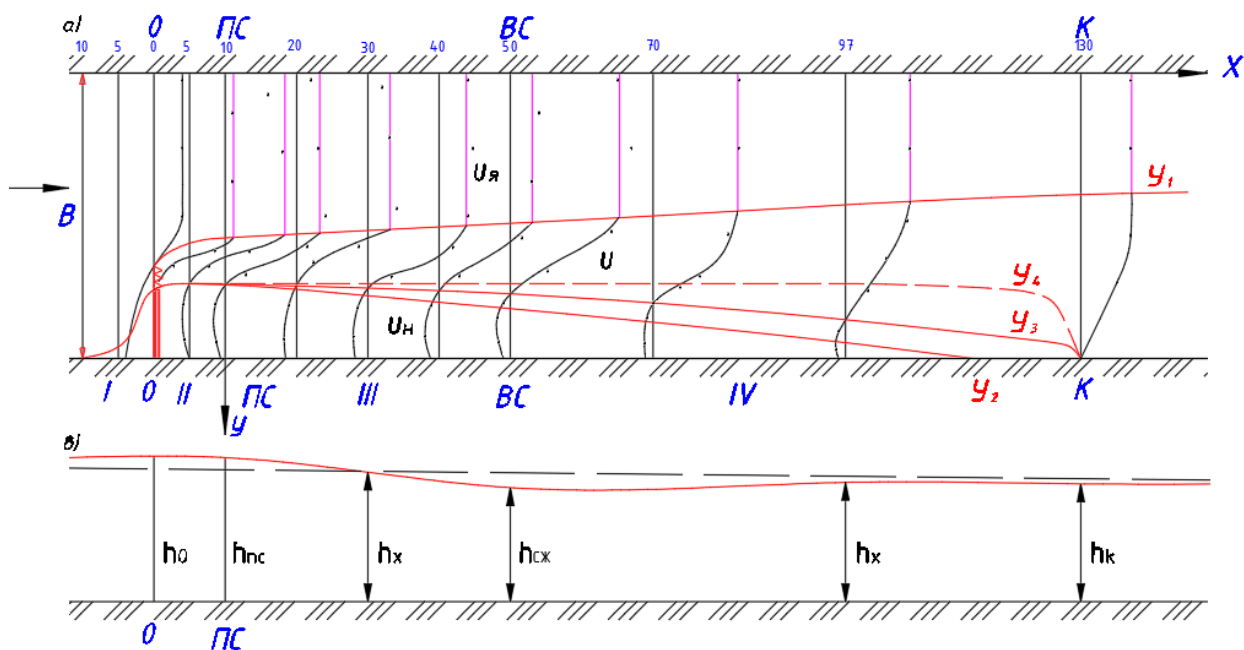


Рис.2.11. Схема потока стесненного комбинированной дамбой на предгорных участках рек. Случай  $l_c / l_D < 0,5$  «спокойный» режим. а) план, в) продольный профиль

$$Q = 7 \text{ л/с} \quad \alpha_D = 90^\circ \quad i = 0,002 \quad n_D = 0,4 \quad A_1 \cdot m_{y2x}^2 + A_2 \cdot m_{y2x} + A_3 = 0$$

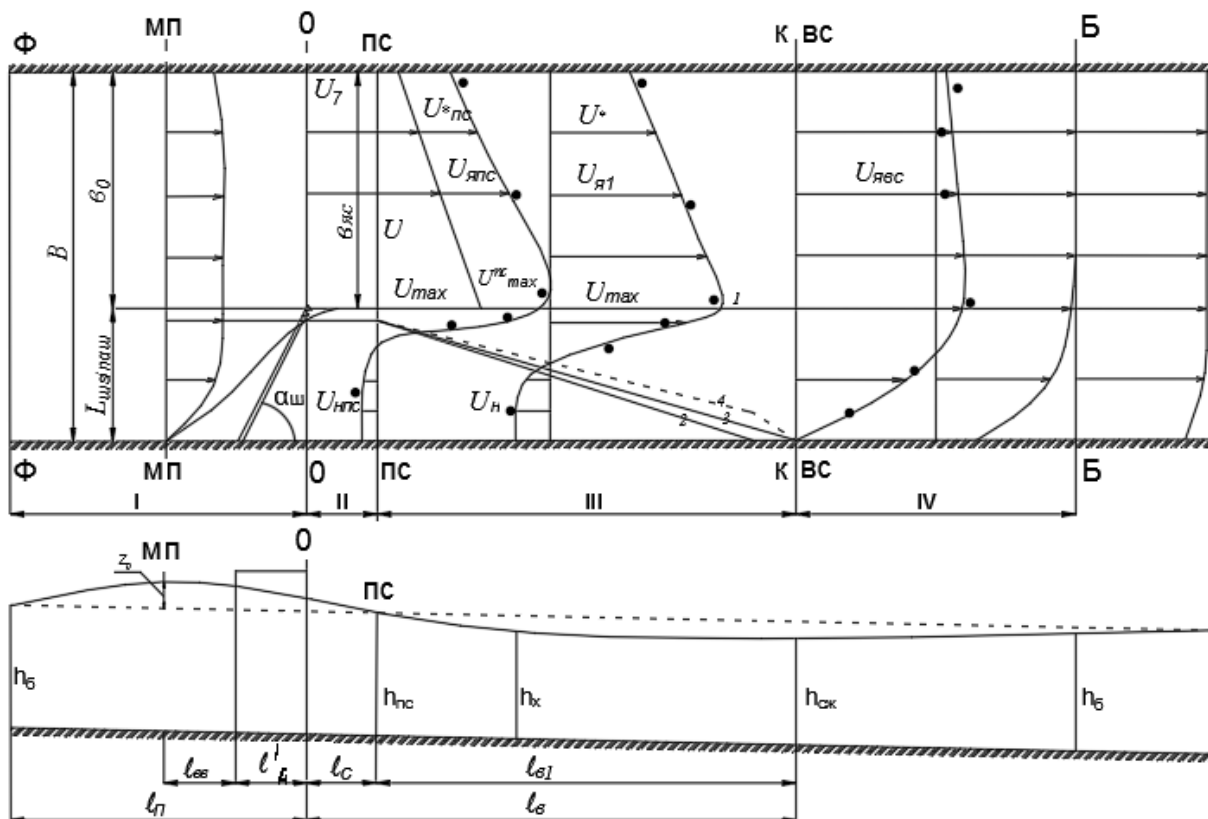


Рис. 2.12. Схема потока стесненного комбинированной дамбой на предгорных участках рек («критический» режим).

Как в области сжатия, так и в области растекания отчетливо видны зоны:

- слабовозмущенного потока, где наблюдаются небольшие поперечные градиенты скоростей;
- интенсивного турбулентного перемешивания, со значительными поперечными градиентами скоростей;
- обратных токов.

При  $l_s/l_d \geq 0,5$  за сквозной частью формируется и спутный поток.

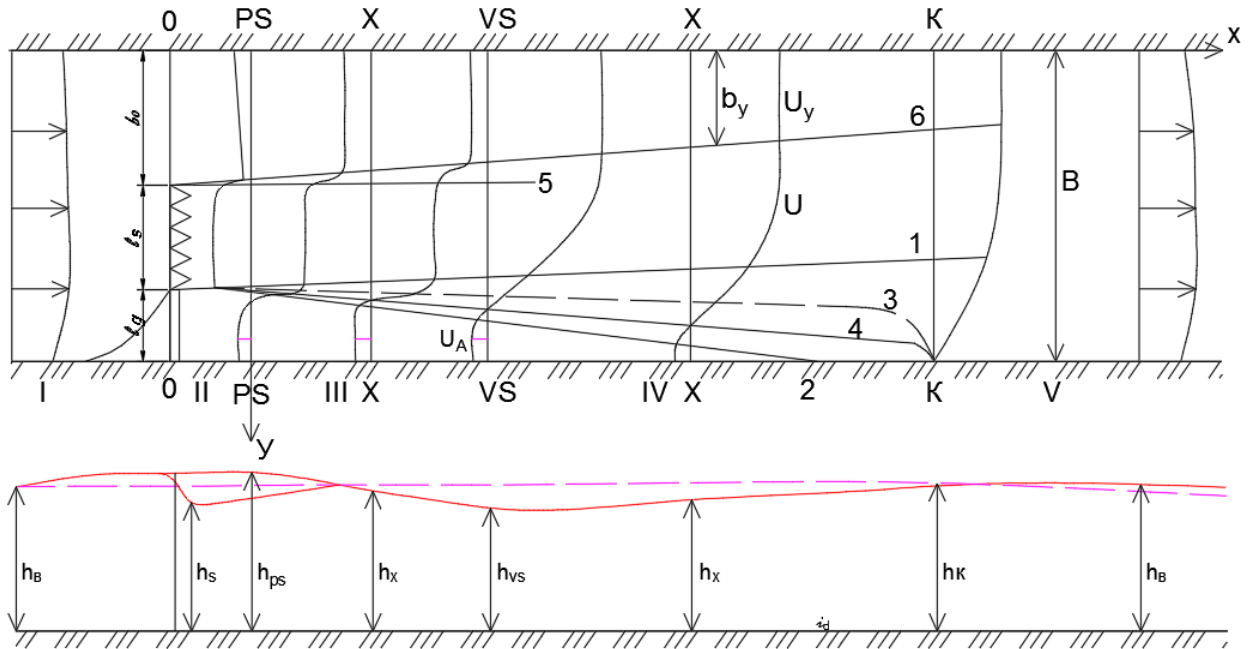


Рис.2.13. Схема потока стесненного комбинированной дамбой на предгорных участках рек. Случай  $l_s/l_d \geq 0,5$  («спокойный» режим)

Экспериментальные исследования показали, что и в данных задачах безразмерный профиль скорости в зоне интенсивного турбулентного перемешивания [27, С. 39-41] является универсальным и подчиняется теоретической зависимости Шлихтинга-Абрамовича (рис.2.14) основной участок струи:

$$\frac{u - u_*}{u_{\max} - u_*} = (1 - \eta^{1.5})^2 \quad \text{где} \quad \eta = \frac{y_1 - y}{e_y} \quad (2.1)$$



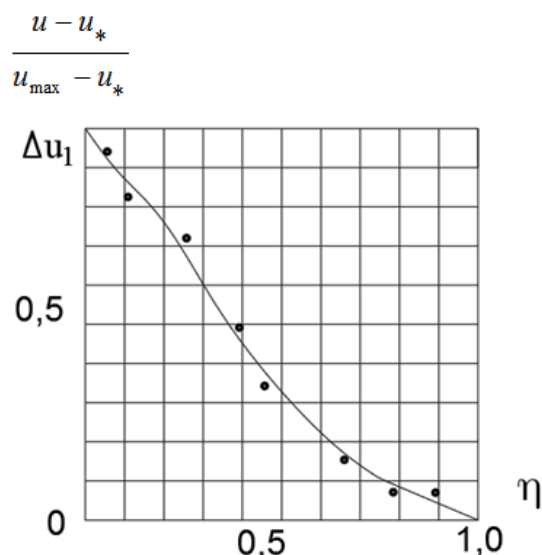


Рис. 2.14. Безразмерные профили скорости в ядре (основной участок струи)

для начального участка струи

$$\frac{u_{\max} - u}{u_{\max} - u_H} = (1 - \eta^{1.5})^2;$$

$$\eta = \frac{y_2 - y}{b} = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} \quad (2.2)$$

или обобщенном виде (рис.2.15)

$$\frac{u_i - u}{u_i - u_H} = (1 - \eta^{1.5})^2 \quad (2.3)$$

Где  $\eta$  - относительная ордината вертикали, где определяется скорость  $u$ ; и  $u_i = u_{\max}$  для области сжатия;  $u_i = u_H$  для области растекания;  $u_{\max}$  максимальная (из средних на вертикали) скорость, которая формируется на границе между слабовозмущенным ядром и зоной интенсивного турбулентного перемешивания.

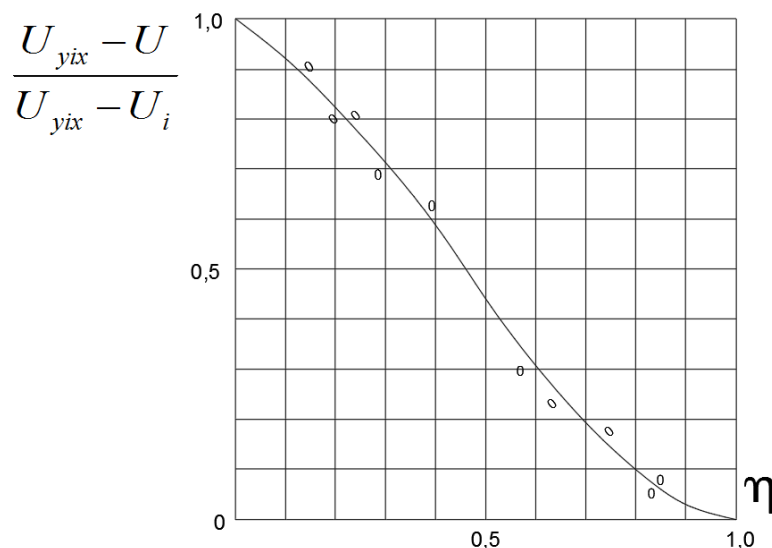


Рис. 2.15. Безразмерный профиль скорости (начальный участок)

Сквозные регулиционные сооружения в отличие от глухих, пропускают часть расхода через тело. Струйный характер течения, однако, сохраняется и в этом случае. Только растекание струи происходит в спутном потоке, формирующемся за телом сооружения.

Таким образом, следует считать доказанным существование струйных течений за комбинированной дамбой различной конструкции. Это дает возможность на применения теории турбулентных струй при разработке методов гидравлического расчета комбинированных сооружений.

Остальные результаты экспериментальных исследований будут даны в следующих главах.

### Выводы по главе II

В главе обоснована актуальность темы, цели и задачи исследований

1. Изложены принципы создания комбинированных дамб с водопропускной частью из тетраэдров.

2. Предложена конструкция комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров а глухая часть выполнена из местного грунта. Они не требует забивки свай и по стоимости и производство строительных работ дешевле и удобно в исполнение. Коэффициент застройки водопропускной части зависеть от способа установки и количество рядов и изменяются от 0,2 до 0,4. Для увеличения коэффициента застройки предложена комбинированная установка тетраэдров: рядовой, ёлочной и решетка.

3. Экспериментальные исследования проводились на лотке размерами 40\*75\*800 см.

4. Экспериментальные исследования проводились по общепринятой методике при следующих параметрах потока и сооружений:

- степень стеснения потока по площади  $n_w = (\ell_r + \ell_c \cdot P) \cdot \sin \alpha_d / B$

- угол установки дамбы  $\alpha_d = 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ ;

- соотношение сквозной части ( $\ell_c$ ) к общей длине дамбы ( $\ell_d$ )

$$\ell_c / \ell_d = 0.1-0.6$$

- отношение ширины потока к глубине  $B/h > 6$ ;

- число Фруда в бытовом состоянии потока изменялось в пределах  $Fr_0 = 0,1 \dots 0,5$ ;

- во всех опытах поддерживался турбулентный режим с числом Рейнольдса  $Re = V_0 \cdot h_0 / \nu > 10^4$

Экспериментально устанавливался урочный режим, поле скоростей, длины водоворотных зон и границы гидравлически однородных зон.

5. Установлено, что устройство данной комбинированной дамбы как и все поперечные преграды приводит к значительной деформации потока; формируются области подпора в верхнем бьефе, области сжатия и растекания в нижнем бьефе.

6. При наличии уклона  $i_d < i_{кр}$ , характерных для предгорных участков рек местоположения планового и вертикального створов не совпадают при всех рассмотренных случаях.

7. При уклонах  $i = 0.002 \div 0.004$  в области растекания формируется два режима: а) «спокойный» при  $n < 0.3$   $Fr_0 < 0.15$ ; (рис.2.11. и 2.13)

б) «критический» при  $n > 0.3$ ,  $Fr_0 > 0.15$ ; (рис.2.12)

В первом случае глубина воды в створе вертикального сжатия  $h_{сж} > h_{кр}$  где  $h_{кр}$  - критическая глубина бытового потока. Во втором случае глубина воды в створе вертикального сжатия  $h_{сж} \leq h_{кр}$ .

8. В потоке отчетливо выделяются зоны с небольшими градиентами и большими поперечными градиентами скоростей, что позволило, как в теории турбулентных струй рассматривать поток, состоящий из гидравлически однородных зон: слабовозмущенного ядра, интенсивного турбулентного перемешивания, спутного течения, водоворотных зон.

Спутный поток формируется когда  $\ell_{c1} / \ell_d > 0.5$ .

9. Установлено, что во всех случаях распределение скоростей в зонах интенсивного турбулентного перемешивания как и в [25, С.196-201] подчиняются теоретическим зависимостям Шлихтинга-Абрамовича. При наличии «критического» режима распределение скоростей в зоне слабовозмущенного ядра неравномерное и также подчиняется этой зависимости.

# ГЛАВА III. ПЛАНОВЫЕ РАЗМЕРЫ ПОТОКА В ОБЛАСТИ СЖАТИЯ, РЕЖИМ УРОВНЕЙ И СМЕЩЕНИЯ ОСИ ПОТОКА СТЕСНЕННОГО КОМБИНИРОВАННОЙ ДАМБЫ С ВОДОПРОПУСКНОЙ ЧАСТЬЮ ИЗ ТЕТРАЭДРОВ

## 3.1. Плановые размеры потока в области сжатия.

На данном участке наблюдаются очень сложная картина обтекания сооружения водным потоком. Поэтому при определении плановых размеров потока используют схему деления потока на гидравлически однородные зоны: слабовозмущенного ядра, интенсивного турбулентного перемешивания, обратных токов [17, С. 26]; [88, С. 70-74; 89, С. 48] (рис.3.1).

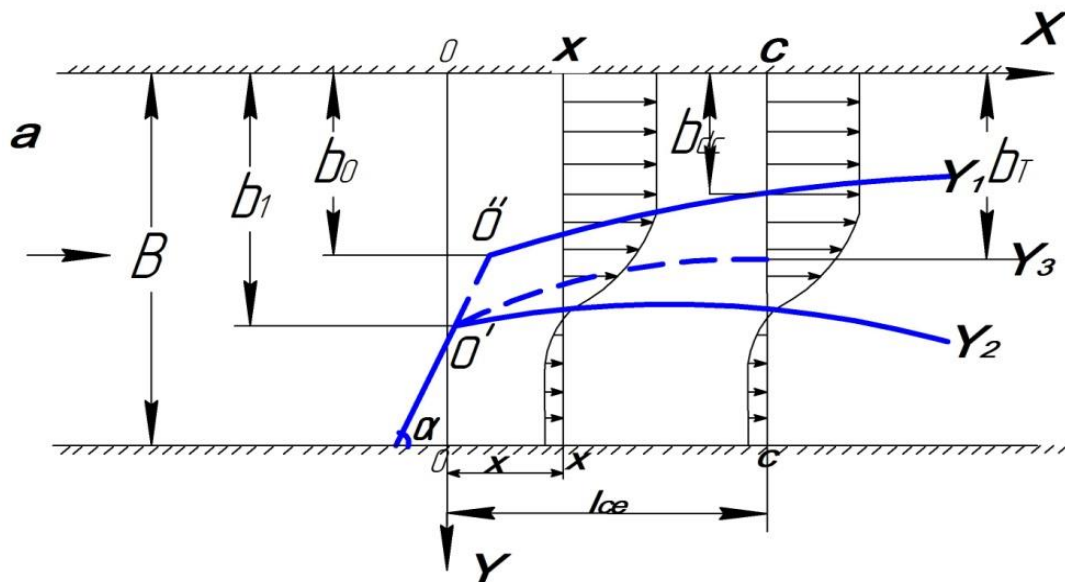


Рис.3.1. Схема деления потока на гидравлически однородные зоны, когда

$$l_c/l_D < 0,5$$

**Результаты исследований.** Опытные данные показали, что на местоположение сжатого сечения ( $l_{cc}$  - расстояние от головы шпоры до сечения С-С) основное влияние оказывают степень стеснения потока  $n$ , угол установки [89, С. 48] шпоры относительно берега  $\alpha_{ш}^0$  и число Фруда  $F_r$ .

На основании обработки экспериментальных данных получены следующие зависимости:

- расстояние от головы шпоры до сечения С-С длина области сжатия находится по зависимости:

$$l_{cc}/b_0 = 0,77 + 0,818n - 0,685\theta \quad (3.1)$$

- длина верховой водоворотной зоны определяется по формуле:

$$\frac{l_b}{(B-b_0)} = 3,13 + 2,71n + 1,7 F_r - 1,28\theta \quad (3.2)$$

На рис.3.2 приведены зависимости изменения относительной длины  $l_{cc}/b_0 = f(n)$ ,  $l_{cc}/b_0 = (\alpha)$  от указанных факторов. Относительное расстояние  $l_{cc}/b_0$  возрастает с увеличением степени стеснения  $n$ , угла установки шпоры  $\alpha^0$  и числа Фруда  $F_r$  в бытовом состоянии.

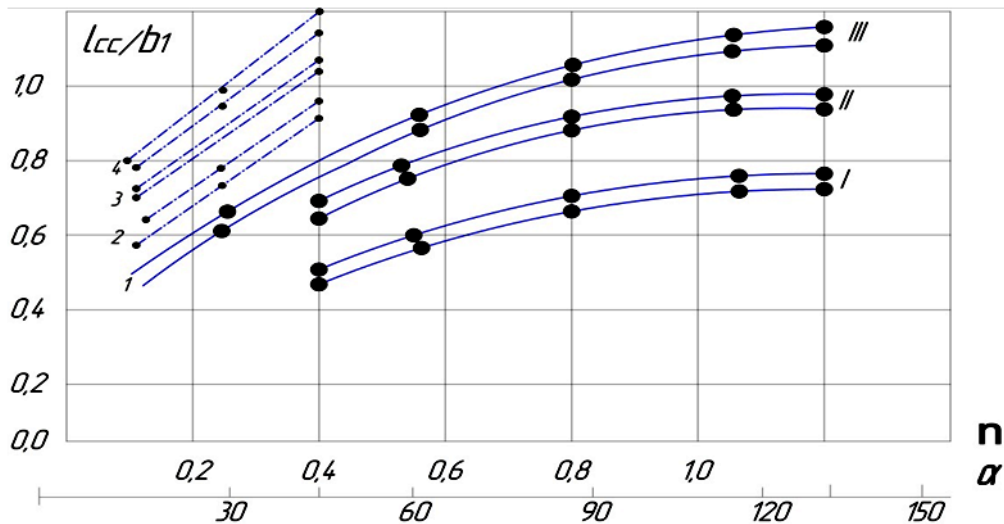


Рис.3.2. Графики зависимостей  $l_{cc}/b_0 = f(n)$ ,  $l_{cc}/b_0 = (\alpha)$

В зависимости от соотношения длин сквозной  $l_c$  и глухой  $l_r$  части (при общей длине шпоры  $l_d = l_r + l_c$  различаются две схемы потока, деформированного комбинированной шпорой.

I - при  $l_c/l_d < 0,5$  образуется одна зона турбулентного перемешивания,

II - при  $l_c/l_d > 0,5$  две зоны турбулентного перемешивания; первая – между ядром и зоной с путного течения, вторая – между с путным потоком и водоворотной зоной.

Формируется еще и переходная зона растекания длиной этого участка можно пренебречь, но для практических расчетов.

Для установления основных плановых границ потока на основе анализа экспериментальных данных получены следующие зависимости.

Для случая I (рис.3.1) определяется:

граница между слабовозмущенным ядром и зоной интенсивного турбулентного перемешивания, луч  $O^* - Y_1$

$$\bar{Y}_1 = b_0 - (1 - \varepsilon \cdot k_1) \cdot \left[ \frac{x_1}{l_{cc} - l_c \cos \alpha_{ш}^0} \right]^{1/3} \quad (3.3)$$

где:  $x_1$  отсчитывается от головы шпоры  $O^*$ .

граница между зоной интенсивного турбулентного перемешивания и зоной обратных токов, луч  $O'' - Y_2$

$$\bar{Y}_2 = 1 - 0,15 \cdot (1 - \varepsilon \cdot k_1) \cdot \left(\frac{x_2}{l_{cc}}\right)^{1/3} \quad (3.4)$$

где:  $x_2$  отсчитывается от начала сквозной части ( $O^I$ ),

ширина зоны интенсивного турбулентного перемешивания между лучами  $O^{II} - Y_1$  и  $O^I - Y_2$   $b = Y_2 - Y_1$  (3.5)

для сечения C-C при  $x_1 = l_{cc} - l_c \cos \alpha_{ш}^0$  и  $x_2 = l_{cc}$

$$\bar{b}_c = 1 - b_0 + 0,85(1 - \varepsilon \cdot k_1) \quad (3.6)$$

граница между транзитным потоком и водоворотной областью, луч  $O^I - Y_3$

$$\bar{Y}_3 = 1 - (1 - \varepsilon \cdot k_1) \cdot \left(\frac{x_2}{l_{cc}}\right)^{1/3} \quad (3.7)$$

Для случая II (рис.3.3)

граница между слабовозмущенным ядром и первой зоной интенсивного перемешивания, луч  $O'' - Y_1$

$$Y_1 = b_0 - 0,07x_1 \quad (3.8)$$

где:  $x_1$  - отсчитывается от головы шпоры ( $O''$ ) и изменяется от нуля до  $(l_c - b_0 \cos \alpha_{ш}^0)$ ;

граница между первой зоной интенсивного турбулентного перемешивания и спутным потоком, луч  $O'' - Y_4$

$$Y_4 = b_0 + 0,05x_1 \quad (3.9)$$

ширина первой зоны интенсивного турбулентного перемешивания между лучами  $O^{II} - Y_1$  и  $O^{II} - Y_4$

$$b = 0,12x_1 \quad (3.10)$$

граница между зоной спутного течения и второй зоной интенсивного турбулентного перемешивания, луч  $O^I - Y_5$

$$\bar{Y}_5 = 1 - (1 - \varepsilon \cdot k_1) \cdot \left(\frac{x_2}{l_{cc}}\right)^{1/3} \quad (3.11)$$

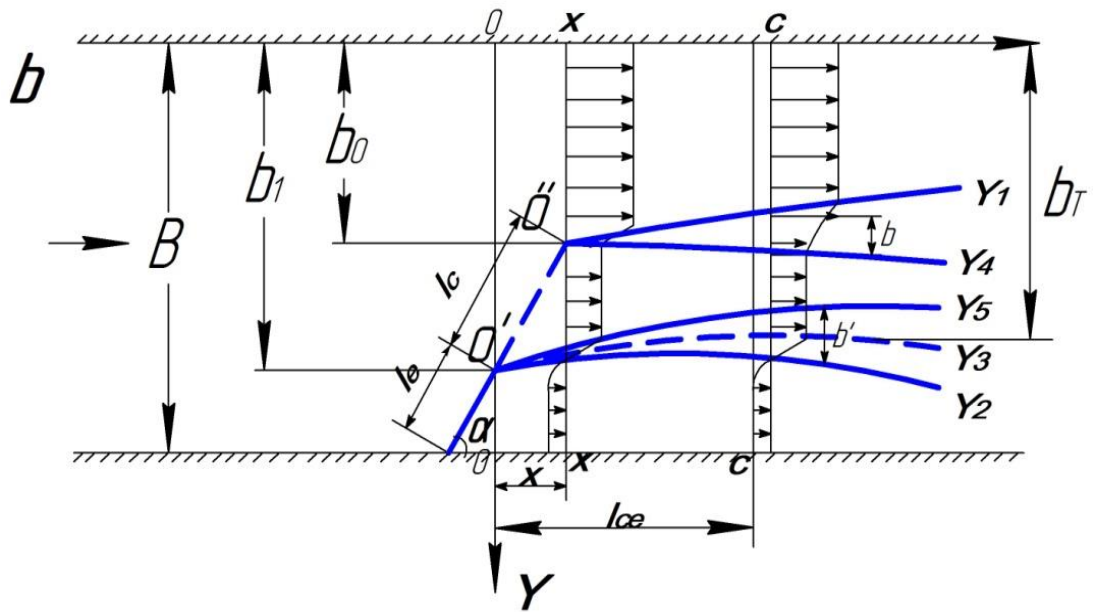


Рис.3.3. Схема деления потока на гидравлически однородные зоны, когда  $l_c/l_D > 0,5$

граница между второй зоной интенсивного турбулентного перемешивания и зоной обратных токов определяется по формуле (4), луч  $0^I - Y_2$ ;

$$\bar{Y}_2 = 1 - 0,15(1 - \varepsilon \cdot k_1) \cdot \left(\frac{x_2}{l_{cc}}\right)^{1/3} \quad (3.12)$$

ширина второй зоны интенсивного турбулентного перемешивания, между лучами  $0^I - Y_5$  и  $0^I - Y_2$

$$\bar{b}_1 = \bar{y}_2 - \bar{y}_1 = 0,85 \cdot (1 - \varepsilon \cdot k_1) \cdot \left(\frac{x_2}{l_{cc}}\right)^{1/3} \quad (3.13)$$

граница между транзитным потоком и водоворотной областью, определяется по формуле (3.4).

В зависимостях (3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9) обозначены:

$\bar{Y}_1 = Y_1/b_1$  ордината границы между слабовозмущенным ядром и зоной интенсивного турбулентного перемешивания;

$\bar{Y}_2 = Y_2/b_2$  ордината границы между зоной интенсивного турбулентного перемешивания и зоной обратных токов;

$\bar{Y}_3 = Y_3/b_1$  ордината границы между транзитным потоком и водоворотной областью;

$\bar{b} = b/b_1$  ширина зоны интенсивного турбулентного перемешивания;

$\varepsilon = b_T/b_1$  коэффициент сжатия;

$k_1 = b_{яc}/b_T$  относительная ширина в сжатом сечении;

$b_1 = b_0 + l_c \sin \alpha$  ширина потока;

$b_T$  ширина транзитного потока;

$Y_1$  ордината границы между слабовозмущенным ядром и первой зоной интенсивного турбулентного перемешивания;

$Y_4$  ордината границы между первой зоной интенсивного турбулентного перемешивания и зоной спутного течения;

$\bar{Y}_5 = Y_5 / b_1$  ордината границы между зоной спутного течения и второй зоной интенсивного турбулентного перемешивания.

$Y_1, Y_4, Y_5$  - ордината границ зон.

Входящие в зависимости величины  $\varepsilon$  и  $k_1$  установлены экспериментальным путем и приведены на рис. 3.3, 3.4 в виде соответствующих графиков. Как видно из графиков тенденция изменения  $\varepsilon$  и  $k_1$  остаются прежней [88, С. 70-74; 89, С. 48] отличаясь только количественно (рис.3.4).

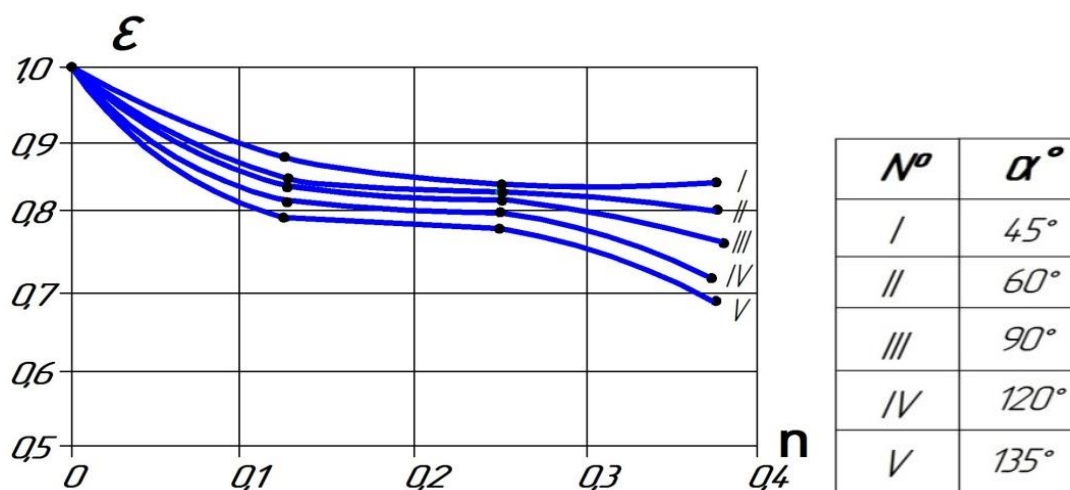


Рис.3.4. Графики зависимостей  $\varepsilon = f(n, \alpha)$

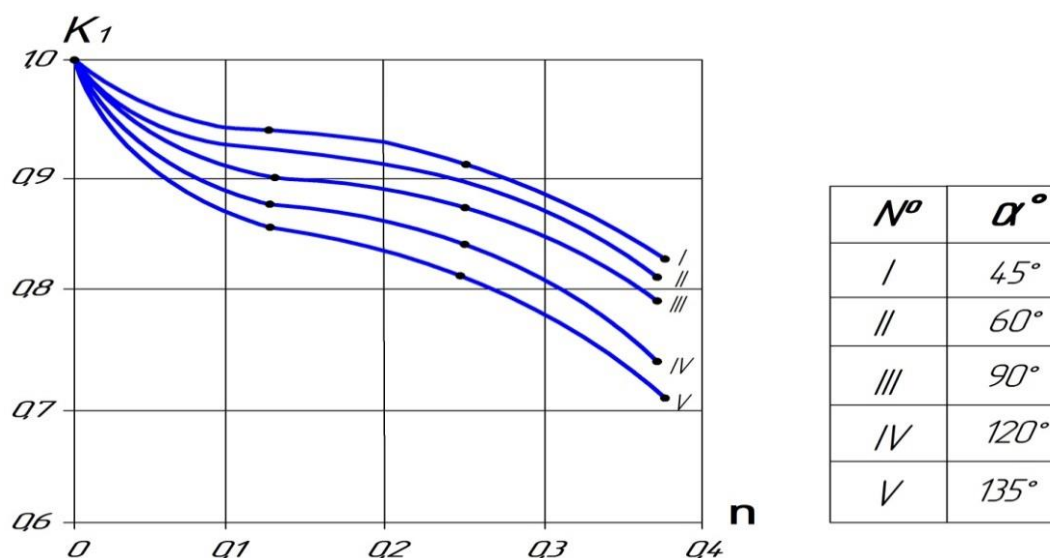


Рис.3.5. Графики зависимостей  $k_1 = f(n, \alpha)$



Величины  $\varepsilon$  и  $k_1$  можно определить по следующим эмперическим зависимостям:

$$\varepsilon = 1 - 0,29(n \sin \alpha_{ин})^{\frac{1}{2}} \quad (3.14)$$

$$k_1 = 0,86 + 0,3n - 0,21\theta \quad (3.15)$$

### **3.2. Определения подпора потока, стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров, на предгорных участках рек**

Экспериментальные исследования показали правильность принятых ранее положений по потоку деформированного поперечной преградой: в верхнем бьефе формируется область подпора, верховая водоворотная зона, область планового и вертикального сжатия за створом стеснения, область растекания и восстановления бытового состояния потока.

Схема потока деформированного комбинированной дамбой для условий рек с уклонами  $i_d = 0.002 - 0.004$ , полученная на основе экспериментальных исследований показана на рис.3.1 Створы А-А и Б-Б, где сохраняются условия близкие к бытовому состоянию русла; МП-створ максимального подпора; О-О створ стеснения; ПС-створ максимального планового сжатия потока; ВС-створ максимального вертикального сжатия; К-К конец водоворотной зоны.

Анализ продольных и поперечных профилей потока показал в отличие от ранее рассмотренных работ [15, 25], (проведенных для условий равнинных рек) наличие большого продольного уклона  $i_d = 0.002 \div 0.004$ , приводит к качественным и количественным изменениям.

Подпор, создаваемый комбинированной дамбой, распространяется на небольшую длину, сам створ максимального подпора МП по мере увеличения уклона дна продвигается вниз к створу стеснения.

Ранее для условий равнинных рек [15] констатировались совпадения створов вертикального и планового сжатия потоков, когда  $n < 0,35$ ;  $Fr < 0,35$ . При  $n > 0,35$   $Fr > 0,35$  створ вертикального сжатия продвигается вниз по течению.

При наличии уклона  $i_d < i_{кр}$ , характерных для предгорных участков рек местоположения этих створов не совпадают при всех рассмотренных случаях.

Вертикальное сжатие потока продолжается и за створом планового сжатия. Положение створа ВС вертикального сжатия при уклонах  $i = 0.004$  при достаточной кинетичности потока  $Fr > 0,30$  иногда выходит за пределы водоворотной зоны. При уклонах  $i = 0.002 \div 0.004$  в области растекания формируется два режима:

- а) «спокойный» при  $n < 0,3$ ;  $Fr_{гб} < 0,15$ ;
- б) «критический» при  $n > 0,3$ ;  $Fr_{гб} > 0,15$ ;

В первом случае глубина воды в створе вертикального сжатия  $h_{сж} > h_{кр}$  где  $h_{кр}$  критическая глубина бытового потока. Во втором случае глубина воды в створе вертикального сжатия  $h_{сж} \leq h_{кр}$ .

Поперечные перепады глубин в области подпора направлены в сторону противоположного берега, в области сжатия в сторону защищаемого берега. В области растекания наблюдается некоторое выравнивание.

Опыты показали что, увеличение уклона дна приводит к резкому сокращению относительной длины  $\ell_{вв} / (B - \vartheta_0)$  верховой водоворотной зоны по сравнению с данными для условий равнинных рек  $i_d = 0.0002$  [15]. Хотя интенсивность сокращения не одинакова при  $i_d = 0.0002$  до  $i_d = 0.001$  относительная длина  $\ell_{вв}$  сокращается от 3.5 до 1.5, а при  $i_d = 0.001$  до  $i_d = 0.004$  сокращение происходит от 1.5 до 0.75, а при уклонах  $i_d = 0.002 - 0.004$ , характерных для условий предгорных рек, эти изменения незначительны и составляют от 1.0 до 0.75.

Увеличение степени стеснения потока также приводит к некоторому возрастанию относительной длины  $\ell_{вв}$ . Уменьшение угла установки дамбы приводит к уменьшению относительной длины  $\ell_{вв}$  и при углах  $\alpha_d < 30^\circ$  водоворотная зона практически исчезает и обтекание поперечной дамбы приближается к обтеканию продельных дамб в их местах соединения с берегом.

Следуя методике [15], составим уравнение Бернулли для сечений МП и ВС при наличии «спокойного» режима потока. Плоскость сравнения проходит на дне в створе ВС.

$$i_D(\ell_{\text{вс}} + \ell_D^1 + \ell_c + \ell_{\text{сж}}) + h_{\text{МП}} + \frac{\alpha_{\text{МП}}}{2g} \left( \frac{Q}{Bh_{\text{МП}}} \right)^2 = h_{\text{сж}} + \frac{\alpha_{\text{ВС}}}{2g} \left( \frac{Q}{B_{\text{ВС}}h_{\text{сж}}} \right)^2 + h_\ell \quad (3.16)$$

На подходном участке в створе МП скорость мало отличается от бытовых, поэтому там можно принять

$$i_{\text{МП}} = i_\sigma = \frac{V_\sigma \lambda_\sigma}{8gR_\sigma} \quad (3.17)$$

Имея в виду, что величина перепада между указанными створами

$$z = h_{\text{МП}} + i_D(\ell_{\text{вс}} + \ell_D^1 + \ell_c + \ell_{\text{сж}}) - h_{\text{сж}} \text{ с другой стороны}$$

$$z = \frac{\alpha_{\text{ВС}} V_{\text{ВС}}^2}{2g} - \frac{\alpha_{\text{МП}} V_{\text{МП}}^2}{2g} + h \text{ или}$$

$$z = \frac{\alpha_{\text{ВС}} V_{\text{ВС}}^2}{2g} - \frac{\alpha_{\text{МП}} V_{\text{МП}}^2}{2g} + \bar{i}_{\text{ТР}}(\ell_{\text{вс}} + \ell_D^1 + \ell_c + \ell_{\text{сж}}) \quad (3.18)$$

$$\text{тогда } z = \frac{\alpha_{\text{ВС}}}{2g} \left( \frac{Q}{\omega_{\text{ВС}} h_{\text{сж}}} \right)^2 - \frac{\alpha_{\text{МП}}}{2g} \left( \frac{Q}{Bh_{\text{МП}}} \right)^2 + \bar{i}_{\text{ТР}}(\ell_{\text{вс}} + \ell_D^1 + \ell_c + \ell_{\text{сж}}) \quad (3.19)$$

$$\text{где } \bar{i}_{\text{ТР}} = \sqrt{i_{\text{МП}} i_{\text{ВС}}};$$

$$i_{\text{МП}} = \frac{V_{\text{МП}}^2 \lambda_{\text{МП}}}{8gR_{\text{МП}}}; \quad i_{\text{ВС}} = \frac{V_{\text{ВС}}^2 \lambda_{\text{ВС}}}{8gR_{\text{сж}}}; \quad i_{\text{МП}} = \frac{Q^2}{C_{\text{МП}}^2 \omega_{\text{МП}}^2 R_{\text{МП}}}$$

$$i_{\text{МП}} = \frac{Q^2}{C_{\text{ВС}}^2 \omega_{\text{ВС}}^2 R_{\text{сж}}}; \quad \omega_{\text{МП}} = B h_{\text{МП}}; \quad \omega_{\text{ВС}} = B_{\text{ВС}} h_{\text{сж}}$$

Учитывая небольшое расширение границы водоворотной зоны на участке  $\ell_{\text{сж}}$  можно записать:

$$\omega_{\text{ВС}} = \varepsilon \cdot \omega_0 \cdot h_{\text{сж}} \quad (3.20)$$

$\varepsilon$  - коэффициент планового сжатия [15, 25]

$$\alpha_{\text{МП}} = 1.05 - 1.10; \alpha_{\text{ВС}} = 1.15 - 1.20$$

порядок решения уравнения остается прежним с последовательным приближением

а) первоначально примем  $h_{\text{нс}} = h_{\text{сж}} = h_\sigma$  и определим  $z$ ;

б) по графику, предложенному И.В. Лебедевым [15]

определим подпорное отношение  $\frac{z_p}{z} = f(n, \alpha_D, n^1)$  и величину

подпора  $z_p$

где  $n$  - степень стеснения потока

$$n = \frac{B - \omega_0}{B} = \frac{\ell_D \text{Sin} \alpha_D}{B}$$

$\alpha_d$  угол установки дамбы;  $n^1$  коэффициент шероховатости русла;

в) по полученным значениям  $h_{сж}$  и  $h_{МП}$  расчет повторяется во втором приближении.

Сравнение расчетных и опытных значений  $z_p$  дают удовлетворительные результаты. Знания величины подпора позволяет правильно назначать высоты сооружения.

Влияние числа Фруда на длину верховой водоворотной зоны небольшое и в опытах их зафиксировать не удалось.

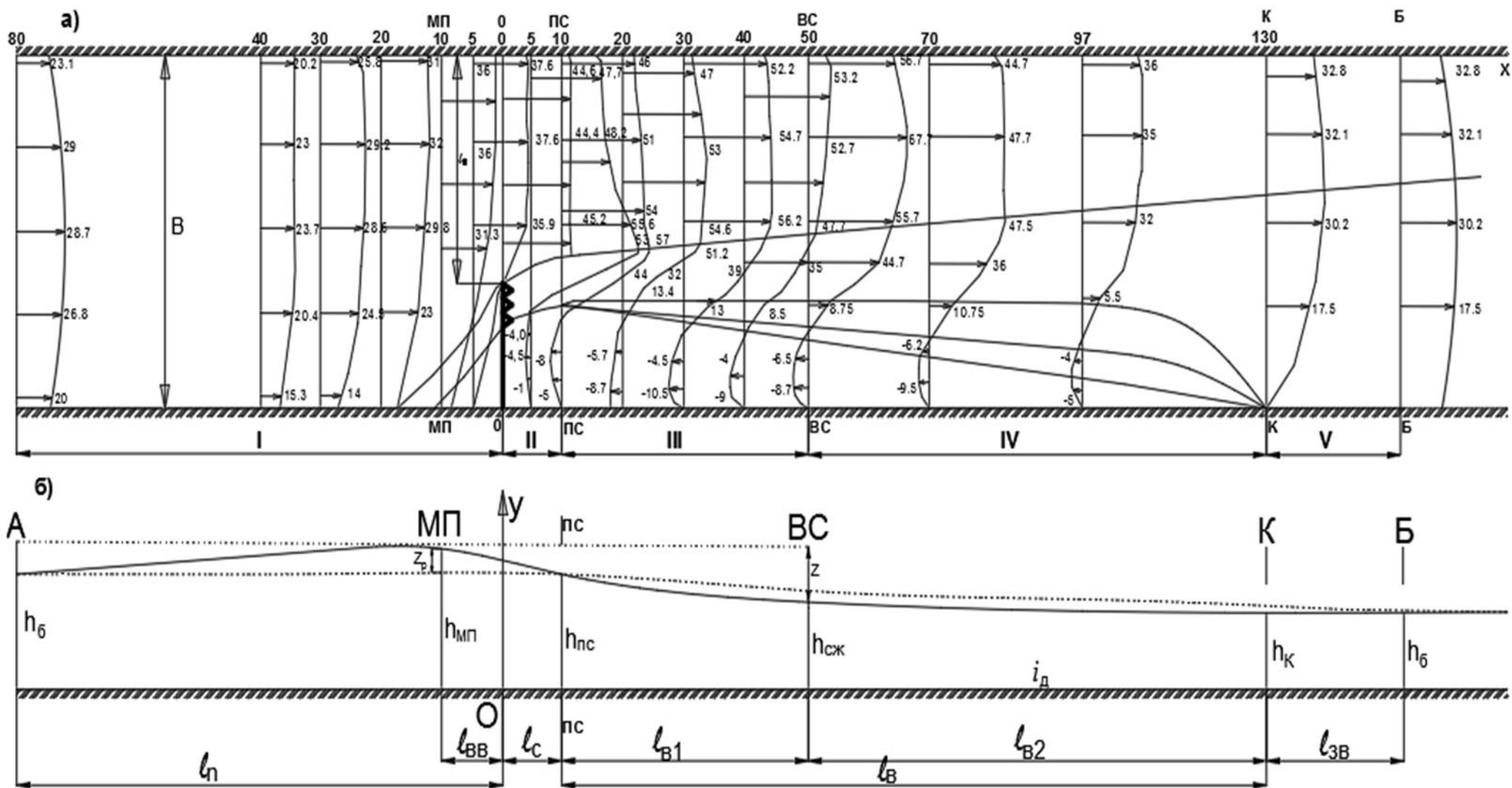


Рис.3.6. Схема потока деформированного комбинированной дамбой на предгорных участках рек (спокойный режим) а) План б) Продольный разрез.

### 3.3. Управление осью потока комбинированной дамбой.

В первой главе сформулированы основные задачи проектирования. В них первостепенное значения имеет выбор трассы регулирования.

При регулировании русел рек трассу необходимо назначать исходя из максимального сохранения существующего формировавшегося при воздействии руслоформирующего расхода для данной реки. Это значительно уменьшает объём и стоимость строительства.

При водозаборе задача усложняется из-за необходимости направления потока к точке водозабора. При решении этих задач используются различные типы регуляционных сооружений в том числе комбинированные дамбы. Под воздействием комбинированной дамбы происходит смещения оси потока.

Необходимо разработать методику гидравлического расчета и ответить на многие вопросы, в том числе каковы должны быть размеры длин глухих и сквозных частей, пропускная способность сквозной части (из тетраэдров) а также общую пропускную способность русла в створе стеснения.

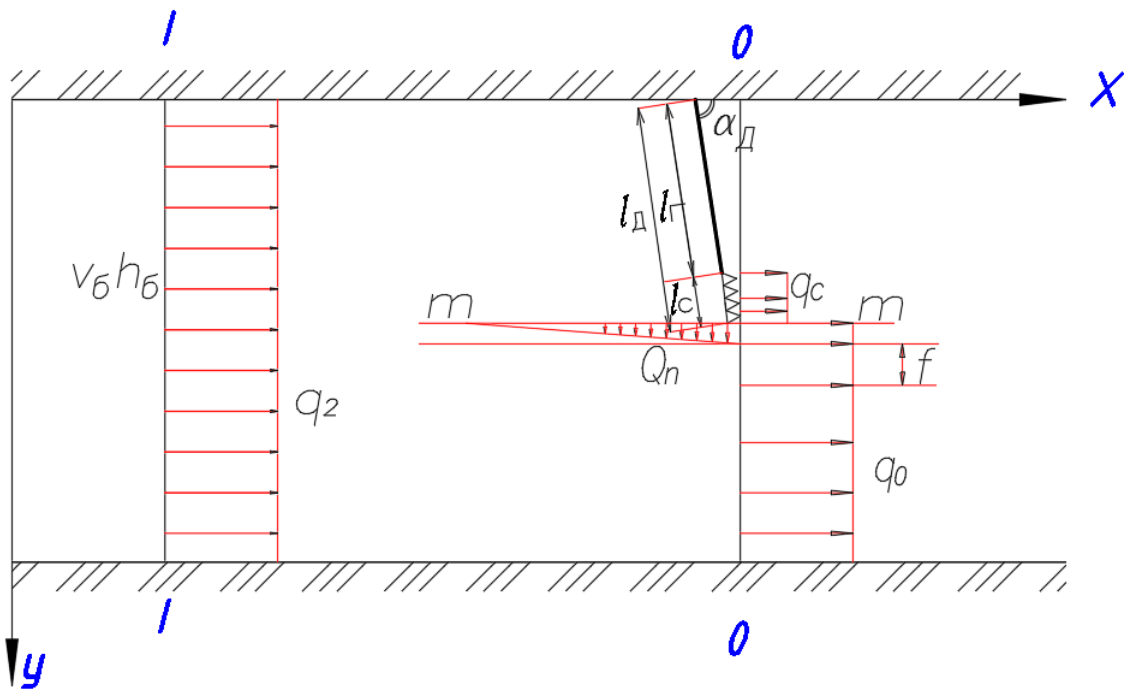
Схема потока к гидравлическому расчету стесненного потока показана на (рис.3.7).

На (рис.3.7) направления оси X совпадает с осью потока а ось Y направлена перпендикулярно к ней. Смещение оси потока под воздействием рассматриваемой дамбы может быть установлено из теоремы Вариньона как это сделано в многочисленных работах в зависимости от конкретной схемы воздействия [25, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 42, 43].

Теорема Вариньона относительно оси X для створов 1-1 и 0-0 записана в виде

$$q_2 B \left( \frac{B}{2} + f \right) = q_c \cdot \ell_c \sin \alpha_d \left( \ell_r \sin \alpha_d + \frac{\ell_c \sin \alpha_d}{2} \right) + q_0 b_0 (\ell_d \sin \alpha_d + 0,5 b_0) \quad (3.21)$$

где  $q_2, q_0, q_c$  – погонные расходы соответственно в створах 1–1 и 0–0 и за сквозной частью;  $\ell_d, \ell_r, \ell_c$  – длина дамбы: общая, глухой части, сквозной части; [30с.158-161]  $\alpha_d$  – угол установка дамбы;  $B, b_0$  – ширина потока: общая, нестесненной части.  $f$  – абсолютная величина смещения оси потока.



**Рис. 3.7. К гидравлическому расчету потока стесненного комбинированной дамбой с тетраэдрами.**

Левую и правую часть уравнения разделим на  $B^2$  и выполняя некоторые преобразования находим относительные смещения оси потока [30, С.158-161]

$$\lambda_f = \frac{f}{B} = \bar{q}_c \cdot n_c \cdot (n_r + 0,5 \cdot n_c) + 0,5 \cdot \bar{q}_0 \cdot (1 - n^2) - 0,5 \quad (3.22)$$

где:  $\bar{q}_c = q_c/q_2$ ;  $\bar{q}_0 = q_0/q_2$ , - относительные погонные расходы: сквозной части, свободной части

Погонные расходы в нестесненной части потока определены из уравнения сохранения расхода записанного для створов 1-1 и 0-0

$$q_2 \cdot B = q_0 \cdot b_0 + q_c \cdot l_c \sin \alpha_D \quad (3.23)$$

Разделив на  $q_2 \cdot B$  после преобразований получен

$$\frac{\bar{q}_0}{q_2} = \frac{1 - \bar{q}_c n_c}{1 - n_r} \quad (3.24)$$

Следуя А.С.Образовский [72] введем понятия «коэффициент обтекания» как отношения расхода проходящий через сквозную часть дамбы  $Q_c$  на расхода приходящий на длине перекрытой дамбой  $Q_2$  [30, С. 158-161]

$$K_0 = \frac{Q_c}{Q_2} \quad (3.25)$$

Исходя из этой зависимости составим уравнения сохранения расхода записанного для отсека жидкости ограниченной створами 1-1 и 0-0 и с граничным током m-m проходящий через оголовок [30, С.158-161] комбинированной дамбы

$$K_0 v_0 h_0 \ell_D \sin \alpha_D = U_c h_c \ell_c \sin(\alpha_D + \beta_0) \cdot (1 - P) \quad (3.26)$$

откуда

$$K_0 = \bar{q}_c \left( 1 - \frac{\ell_r}{\ell_D} \right) \cdot (1 - P) a \quad (3.27)$$

где:  $a = \frac{\sin(\alpha_D + \beta_0)}{\sin \alpha_D}$ ;  $\beta = 16^\circ$  угол растекания потока за сооружением

где:  $P$  – гидравлический коэффициент застройки тетраэдров определяется по рекомендациям Ф.Ш.Ишаева [48]

$$P = \frac{Ad}{\ell} n^{3/4} K \quad (3.28)$$

где:  $A = 3$  при установке тетраэдров в шахматном порядке;  $A = 5$  при рядовой установке тетраэдров  $d$  – сторона квадратного сечения или диаметр балки  $b$  м;  $\ell$  – длина балки  $b$  м;  $n$  – число рядов тетраэдров в сооружении;  $K = 0,7$  опытный коэффициент (для однорядной установки  $K = 1,0$ )

При уплотненной (елочной) установке

$$P = K_1 W_m b \quad (3.29)$$

$W_m$  – объём материала, заполняющего единицу объёма тела сооружения по внешнему обмеру;  $b$  – средняя ширина сооружения  $b$  м.  $K_1 = 1,1$  опытный коэффициент. Перепад уровней определяются по зависимости

$$Z = \xi \frac{v_0^2}{2g} \left[ \frac{1}{(1 - P)^2} - 1 \right] (n_r + n_c) K_3 \quad (3.30)$$

где:  $\xi = 1,1 \div 1,2$ ; коэффициент гидравлического сопротивления  $K_3 = 0,85$  опытный коэффициент. Погонные расходы за сквозной частью из тетраэдров можно определять

$$q_c = q_2 (1 - P) \quad (3.31)$$

Для оценки работы полученных зависимостей решена тестовая задача применительно к участку р. Чирчик (приток реки Сырдарья).

Расчёт выполнен при следующих параметрах потока и комбинированной дамбы: расход  $Q = 750 \text{ м}^3/\text{сек}$ , ширина реки  $B = 250 \text{ м}$ , скорость в бытовом состоянии  $\ell_0 = 2 \text{ м}/\text{сек}$ , глубина  $1,5 \text{ м}$ , погонный расход  $q_2 = 3 \text{ м}^2/\text{сек}$  длина балки из которых выполнена сквозная часть  $\ell = 4 \text{ м}$ , балка квадратной формы  $0,17 \times 0,17 \text{ м}$ , коэффициент зависящий от порядка установки принять  $A = 5$  для рядовой установки,  $N = 2$  – число рядов тетраэдров.

Результаты гидравлического расчёта приведены в таблице 3.1 [30, С.158-161] и графически изображены на (рис. 3.8 и 3.9).



Сравнение результатов тестовой задачи с результатами ранее проведенных исследований [26, С. 78-82; 30, С. 158-161] показывает, что общая тенденция увеличения и  $\lambda_f$  от степеней стеснения (общей  $n$  и глухой частью  $n_f$ ) сохраняется. Можно заметить и существенную разницу, когда сквозная часть выполнена из свай из-за высокого коэффициента застройки (в пределах 0,5)  $q_0/q_2$  больше единицы а  $\lambda_f$  больше нуля, тогда как, когда сквозная часть выполнена из тетраэдров из-за малого коэффициента застройки  $q_0/q_2$  при небольших  $n$  меньше нуля а  $\lambda_f$  имеет значения с минусом.

Это говорить о том, что без достаточной длины глухой части комбинированная дамба с тетраэдрами малоэффективны для управления осью потока. Поэтому при разработке конструкции во второй главе нами введен элемент решетка, которая в период эксплуатации частично забывается плавающими телами и увеличивает коэффициент застройки.

Таблица 3.1.

## Гидравлический расчет комбинированной дамбы с тетраэдрами

<b>n</b>	<b>l<sub>д</sub></b> (м)	<b>l<sub>г</sub></b> (м)	<b>n<sub>г</sub></b>	<b>l<sub>с</sub></b> (м)	<b>n<sub>с</sub></b>	<b>l<sub>г</sub>/l<sub>д</sub></b>	<b>q<sub>с</sub></b> м <sup>2</sup> /с	<b>a</b>	<b>K<sub>0</sub></b>	<b>q<sub>0</sub>/q<sub>2</sub></b>	<b>λ<sub>г</sub></b>
0,1	25,0	0,00	0,00	25,00	0,10	0,00	0,75	1	0,56	0,93	-0,04
0,1	25,0	7,50	0,03	17,50	0,07	0,30	0,75	1	0,39	0,977	-0,01
0,1	25,0	12,50	0,05	12,50	0,05	0,50	0,75	1	0,28	1,013	0,00
0,1	25,0	20,00	0,08	5,00	0,02	0,80	0,75	1	0,11	1,071	0,03
0,1	25,0	25,00	0,10	0,00	0,00	1,00	0,75	1	0,00	1,111	0,05
0,2	50,0	0,00	0,00	50,00	0,20	0,00	0,75	1	0,56	0,850	-0,08
0,2	50,0	12,50	0,05	37,50	0,15	0,25	0,75	1	0,42	0,934	-0,04
0,2	50,0	25,00	0,10	25,00	0,10	0,50	0,75	1	0,28	1,028	0,00
0,2	50,0	37,50	0,15	12,50	0,05	0,75	0,75	1	0,14	1,132	0,05
0,2	50,0	50,00	0,20	0,00	0,00	1,00	0,75	1	0,00	1,250	0,10
0,3	75,0	0,00	0,00	75,00	0,30	0,00	0,75	1	0,56	0,775	-0,11
0,3	75,0	18,75	0,08	56,25	0,23	0,25	0,75	1	0,42	0,899	-0,06
0,3	75,0	37,50	0,15	37,50	0,15	0,50	0,75	1	0,28	1,044	0,00
0,3	75,0	62,50	0,25	12,50	0,05	0,83	0,75	1	0,09	1,283	0,09
0,3	75,0	75,00	0,30	0,00	0,00	1,00	0,75	1	0,00	1,429	0,15
0,4	100	0,00	0,00	100	0,40	0,00	0,75	1	0,56	0,700	-0,15
0,4	100	25,00	0,10	75,00	0,30	0,25	0,75	1	0,42	0,861	-0,08
0,4	100	50,00	0,20	50,00	0,20	0,50	0,75	1	0,28	1,063	-0,01
0,4	100	75,00	0,30	25,00	0,10	0,75	0,75	1	0,14	1,321	0,08
0,4	100	100,0	0,40	0,00	0,00	1,00	0,75	1	0,00	1,667	0,20

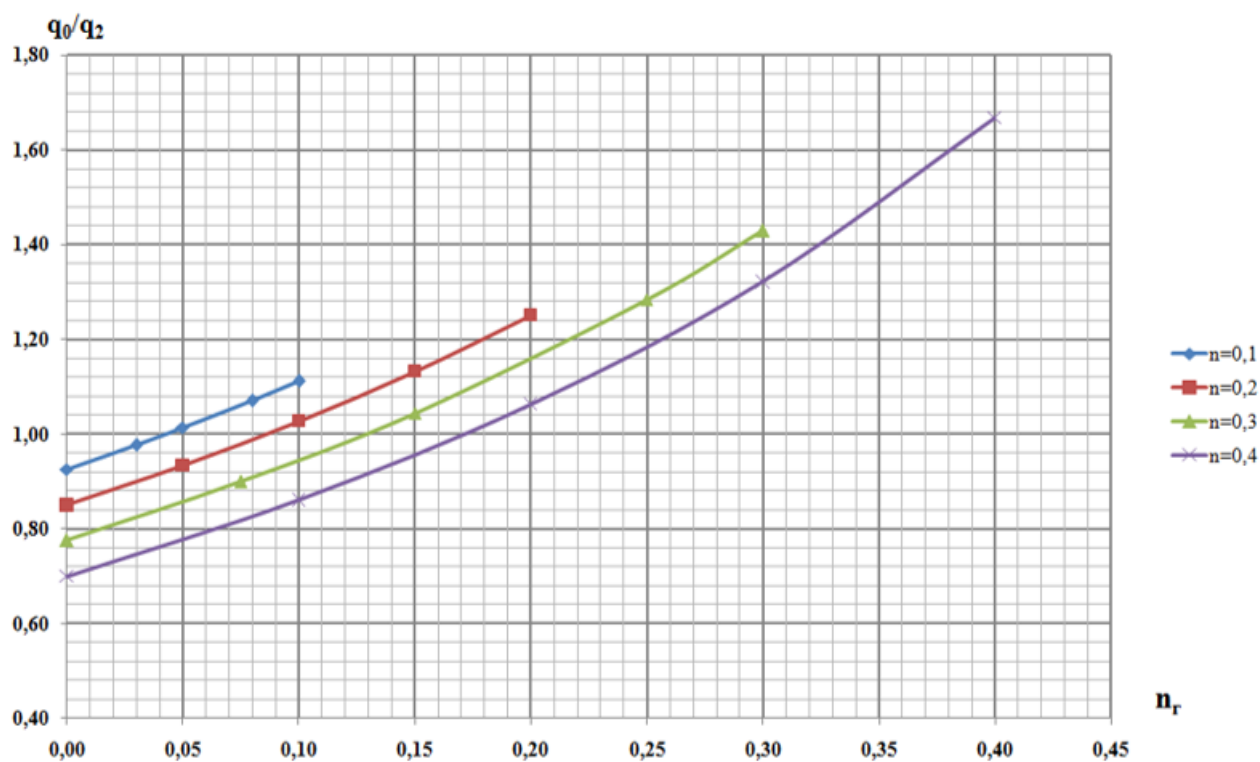


Рисунок 3.8. Графики изменения относительных погонных расходов от степеней стеснения дамбой

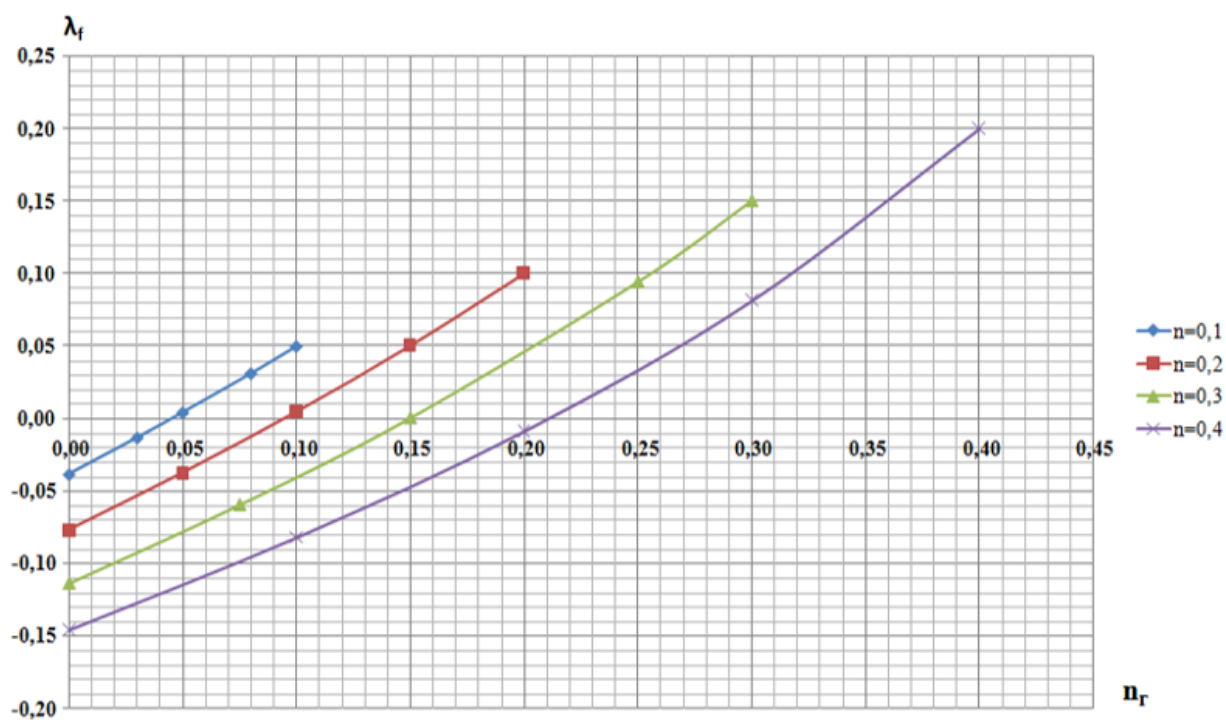


Рисунок 3.9. Графики изменения относительного смещения оси потока от степеней стеснения дамбой

### Выводы по главы III

1. На основе проведенных экспериментальных исследований и обработки данных получены основные плановые размеры деформированного потока комбинированной шпорой: длина верховой водоворотной зоны, расстояние до сжатого сечения, границы между гидравлически однородными зонами, построены графики зависимости  $\ell_{cc}/b_0 = f(n)$ ,  $\ell_{cc}/b_0 = (\alpha)$  от указанных факторов. Относительное расстояние  $\ell_{cc}/b_0$  возрастает с увеличением степени стеснения потока  $n$ , угла установки шпоры  $\alpha_{uu}^0$  и числа Фруда  $F_r$  в бытовом состоянии, а также величины  $\varepsilon$  и  $k_1$  могут быть определены по формулам.

2. Величина подпора и перепада определены из уравнения Бернулли записанного для створов максимального подпора и створа вертикального сжатия. Задача реализуется подбором по рекомендациям И.В.Лебедева.

3. Сравнение результатов тестовой задачи с результатами ранее проведенных исследований [26, С. 78-82; 30, С. 158-161] показывает, что общая тенденция увеличения и  $\lambda_f$  от степеней стеснения (общей  $n$  и глухой частью  $n_r$ ) сохраняется.

4. При выполнении сквозной части из свай, из-за высокого коэффициента застройки (в пределах 0,5)  $q_0/q_2$  больше единицы а  $\lambda_f$  больше нуля, тогда как, когда сквозная часть выполнена из тетраэдров из-за малого коэффициента застройки  $q_0/q_2$  при небольших  $n$  меньше нуля а  $\lambda_f$  имеет значения с минусом.

5. Без достаточной длины глухой части комбинированная дамба с тетраэдрами малоэффективны для управления осью потока. Поэтому при разработке конструкции во второй главе нами введен элемент решетка, которая в период эксплуатации частично забывается плавающими телами и увеличивает коэффициент застройки.

6. Пропускная способность сквозной части оценена через «коэффициент обтекания».

7. После завершения работ по назначению основных размеров потока стесненного комбинированной дамбой с тетраэдрами можем перейти к разработке методики расчета поле скоростей.

## ГЛАВА IV. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ РАСЧЕТА ПОТОКА СТЕСНЕННОГО КОМБИНИРОВАННОЙ ДАМБОЙ С ВОДОПРОПУСКНОЙ ЧАСТЬЮ ИЗ ТЕТРАЭДРОВ В ОБЛАСТИ РАСШИРЕНИЯ НА ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКАХ РЕК.

**4.1. Теоретические основы расчета и её приложение к решению задачи расширения потока за комбинированными дамбами.**

### **4.1.1. Основные положения теории турбулентных струй**

Теория турбулентных струй представляет один из важных разделов современной гидродинамики, поскольку струйные течения наиболее распространенный вид движения жидкости и газов встречающийся в инженерных задачах.

«Струями принято считать течение по обе стороны поверхности тангенциального разрыва. Тангенциальный разрыв претерпевает величина скорости течения, температура, концентрация примесей и др.

Для поверхности тангенциального разрыва характерно наличие неустойчивых вихрей, движущихся вдоль и поперек потока, благодаря чему между струями происходит непрерывный обмен массами, т.е. перенос количества движения, тепла и др. В результате на границе двух струй формируется зона конечной толщины с непрерывным распределением скорости, температуры и концентрации примеси. Эта область называется струйным пограничным слоем или зоной интенсивного турбулентного перемешивания» [5, С. 9-17].

Рассматривается наиболее распространенный случай истечения жидкости с равномерным распределением скоростей  $U$  в среду, движущуюся с постоянной скоростью  $U_n$ . В этом случае в начальном сечении струи толщина зоны интенсивного турбулентного перемешивания равна нулю. [5, С. 9-17]. Однако наличие непрерывного обмена массами через поверхности тангенциального разрыва приводит к образованию зоны интенсивного турбулентного перемешивания шириной  $\delta$ , с одной стороны, с другой к уменьшению ширины слабовозмущенного ядра  $\delta_j$  со скоростью  $U_j$ . Часть струи, в пределах которой имеется ядро, называется начальным участком, за ним следует переходной и основной [5, С.-716] участки. Во многих практических задачах длиной переходного участка пренебрегают из-за ее малости.

В зависимости от направления вектора скорости течения жидкости в окружающем пространстве  $U_n$  турбулентные струи бывают спутными или встречным.

Различают также струи свободные если они распространяются в безграничном пространстве и несвободные, когда они распространяются в ограниченном пространстве (дно, свободная поверхность).

Характерной особенностью турбулентных струй является еще то, что распределение скоростей в зоне интенсивного турбулентного перемешивания принимается универсальной [5, С. 716; 15, С. 57; 67, С. 184].

#### **4.1.2. Закономерности растекания потока за поперечной дамбой на предгорных участках рек.**

Условия проведения опытов Овчинникова М.М. [73] отвечают условиям порожистых участков рек. Эти участки характеризуются чередованием порог. Они образованы выходами трудно размываемых горных пород и обычно загромождено крупными камнями, в низкую воду выступающими из воды, это характерно Сибирским и северным рекам России. Предгорные участки рек Средней Азии, Узбекистана протекают в руслах сложенных собственными отложениями. Поэтому они отличаются друг от друга.

Экспериментальные исследования подтвердили тот факт [73] что при спокойном режиме бытового русла ( $i_0 < i_{кр}$ ) наблюдаются два «режима» стесненного потока:

1) «спокойный» режим, когда глубина воды в области деформированного потока поперечными дамбами, больше критических;

2) «критический» режим, когда глубина воды в створе максимального вертикального сжатия потока равны или меньше критических.

В зависимости от этого поле скоростей потока деформированного поперечной дамбой видоизменяется. Рассмотрим случай, когда наблюдается «спокойный» режим потока. В этом случае в потоке наблюдаются области: I-подпора, II-планового сжатия потока, III-растекание потока с дальнейшим вертикальным сжатием, IV-второй участок растекания с увеличением глубин от максимального вертикального сжатия до бытовых и выравнивание скоростей до бытовых.

На рис. 4.1 обозначены I-I-начало подпора; МП-створ максимального подпора; 0-0-створ стеснения; ПС-створ максимального планового сжатия; ВС-створ максимального вертикального сжатия; К-конец водоворотной зоны; Б-створ восстановления бытовых скоростей.

Расчетной схеме, принятой на основе экспериментальных исследований поток делится на отдельные гидравлические однородные

зоны, как это принято в теории турбулентных струй: зоны слабовозмущенного ядра шириной- $v_y$ , зоны интенсивного турбулентного перемешивания шириной- $v$ , зоны обратных скоростей шириной  $[B-(v_y+v)]$ .

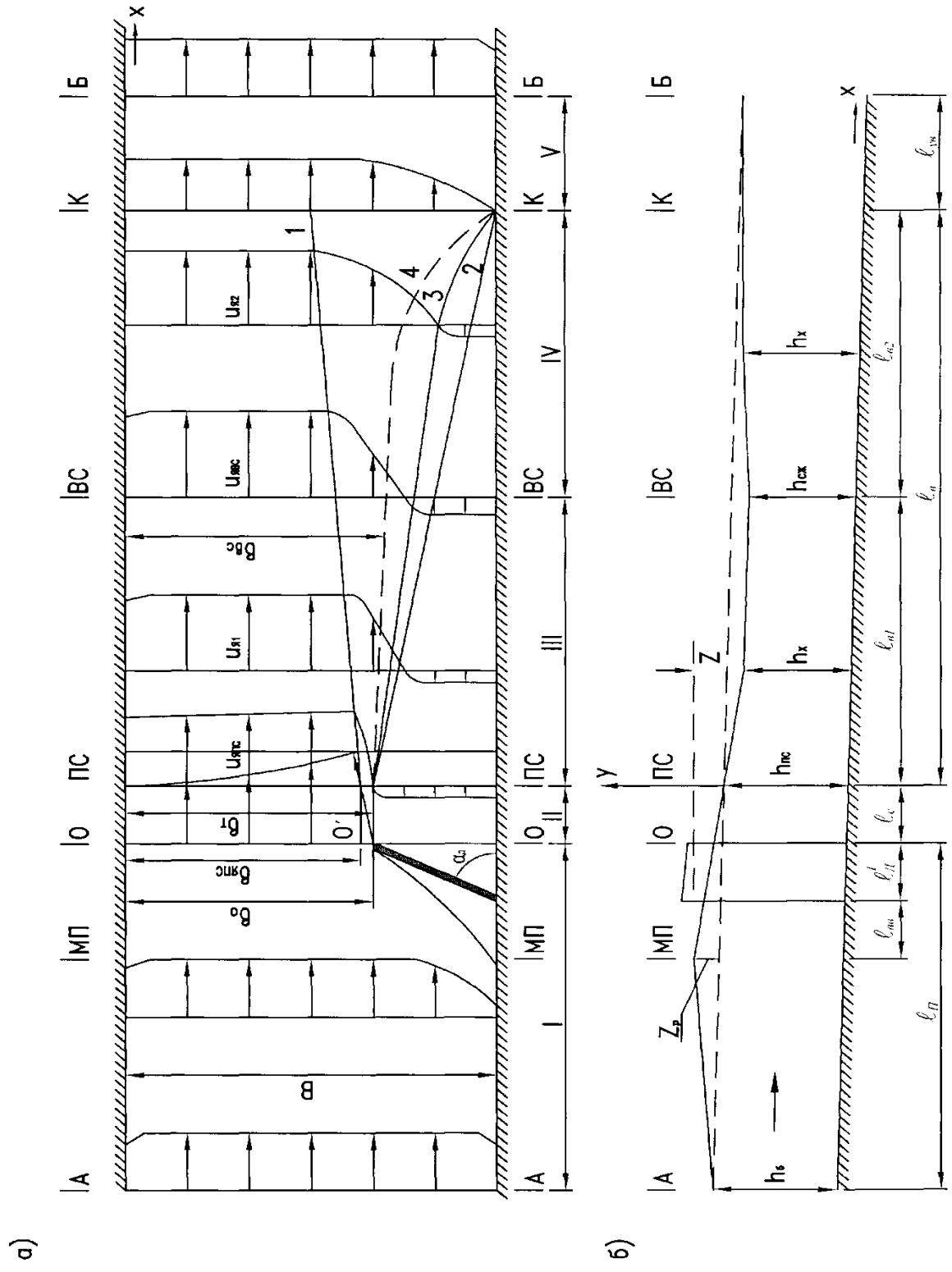


Рис. 4.1 Схемы потока деформированной поперечной дамбой на предгорных участках рек (спокойный режим) а) План б) Продольный разрез

В расчетной схеме: луч 0'-1-граница между ядром и зоной интенсивного турбулентного перемешивания; 0'-2-внешняя граница зоны интенсивного турбулентного перемешивания; 0'-3-граница зоны нулевых скоростей; 0'-4-граница турбулентного потока.

Распределение скоростей в зоне интенсивного турбулентного перемешивания принимаем по зависимости Шлихтинга-Абрамовича [5]

$$\frac{u_{я} - u}{u_{я} - u_n} = (1 - \eta^{3/2})^2 \quad (4.1)$$

где  $u_{яi}$ -скорость в ядре соответствующих створах  $u_{яi} = u_{яnc}$ ;  $u_{яi} = u_{я1}$ ;  $u_{яi} = u_{яяc}$ ;  $u_{яi} = u_{я2}$ ;  $u$ -скорость в зоне интенсивного турбулентного перемешивания;  $u_n$ -скорость обратных токов.

Теоретическими исследованиями следовало установить закономерности изменения скоростей в зоне слабовозмущенного ядра  $u_{яi}$ , обратные скорости  $u_n$  и длины водоворотной зоны в области растекания  $\ell_{e1}, \ell_{e2}$  или  $L_e$

Для решения задачи использованы:

1-интегральное соотношение, характеризующее закон сохранения импульса в потоке;

2-уравнение сохранения расхода;

3-дифференциальное уравнении неравномерного движения [15] записанного для транзитного потока, с учетом касательных турбулентных напряжений на боковых поверхностях по Прандтлюю.

Задача в данном случае отличается от ранее рассмотренных [15] наличием двух участков растекания с разными уклонами водной поверхности, наличием больших уклонов дна  $i_D < i_{kp}$  характерных для предгорных участков рек, необходимостью учета составляющей веса жидкости, повышенной шероховатостью, створы планового и вертикального сжатия не совпадают.

Для определения закономерности изменения скоростей в пределах первого участка растекания воспользуемся уравнением сохранения, импульса в потоке которые для сечений ПС и X-X запишется

$$\begin{aligned} & \rho u_{яnc}^2 \epsilon_{яnc} h_{nc} + \rho h_{nc} \int_0^{\epsilon_c} u^2 dy + \rho u_{яnc}^2 h_{nc} (B - \epsilon_{яnc} - \epsilon_c) + \frac{\gamma B}{2} (h_{nc}^2) = \\ & = \rho h_x \cdot \int_0^{\epsilon_{я1} + \epsilon} u^2 dy + \rho u_n^2 h_x (B - \epsilon_{я1} - \epsilon_1) + \rho \int_0^x \int_0^{\epsilon_{я1} + \epsilon_1} \frac{\lambda u^2}{2} dy dx + \frac{\gamma B}{2} h_x^2 - \frac{\gamma}{2} (h_{nc} + h_x) B i_D x \end{aligned} \quad (4.2)$$

где глубина потока в сечении X-X определяется

$$h_x = h_{nc} + i_D x - ix = h_{nc} - ix + i_D x = h_{nc} - x(i - i_D) = h_{nc} - Jx \quad (4.3)$$



$$J = i_D - i$$

J-среднее значение приращение глубины

$$\frac{\partial h}{\partial x} = J = \frac{h_{nc} - h_x}{\ell_{\sigma 1}} \quad (4.4)$$

Поскольку и в данном случае относительные обратные скорости  $u_H / u_{\text{яи}}$  не превышает 0.5 ими можно пренебречь [15], т.е. вместо (4.1) можно записать

$$\frac{u_{\text{яи}} - u}{u_{\text{яи}} - u_n} = \frac{u_{\text{яи}} - u}{u_{\text{яи}}} = (1 - \eta^{3.2})^2 \quad (4.5)$$

где  $\eta = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1}$  при  $y = y_1, \eta = 1, u = u_{\text{яи}}, y = y_2, \eta = 0, u = u_n$

Тогда уравнение (4.2) принимает вид

$$u_{\text{яи}}^2 \epsilon_{\text{яи}} h_{nc} + h_{nc} \int_0^{\epsilon_c} u^2 dy = h_x \int_0^{\epsilon_{\text{яи}} + \epsilon_1} u^2 dy + \int_0^x \int_0^{\epsilon_{\text{яи}} + \epsilon_1} \frac{\lambda u^2}{2} dy dx + \frac{gB}{2} (h_{nc}^2 - h_x^2) - \frac{g}{2} (h_{nc} + h_x) Bi_D x \quad (4.6)$$

Выполняя интегрирование в левой части (4.6) с учетом (4.5), получим интегральное уравнение

$$u_{\text{яи}}^2 \epsilon_{\text{яи}} h_{nc} + 0,416 u_{\text{яи}}^2 \epsilon_c h_{nc} = h_x \beta + \frac{\lambda}{2} \int_0^x \beta dx + \frac{gB}{2} (h_{nc}^2 - h_x^2) - \frac{gB}{2} (h_{nc} + h_x) i_D x \quad (4.7)$$

где  $\beta = \int_0^{\epsilon_{\text{яи}} + \epsilon_1} u^2 dy$

Продифференцируем

$$0 = h_x^1 \beta + \beta^1 h_x + \frac{\lambda}{2} \beta + \frac{gB}{2} \left( (-2h_x) \cdot h_x^1 - \frac{gB}{2} h_{nc} i_D x^1 - \left[ -\frac{gB}{2} i_D h_{nc} x + \frac{gBi_D}{2} h_x x + \frac{gBi_D J}{2} 2x \cdot x^1 - \frac{gB}{2} i_D h_{nc} x + \frac{gB}{2} i_D h_{nc} x - \frac{gBi_D}{2} Jx^2 + \frac{gB}{2} i_D Jx^2 + \frac{gB}{2} i_D J(x^2) \right] + \frac{gBi_D J}{2} 2x \cdot x^1 \right) \quad (4.8)$$

$$0 = J\beta + \frac{d\beta}{dx} h_x + \frac{\lambda}{2} \beta - \frac{gB}{2} 2h_x \cdot J + gBi_D Jx \quad (4.9)$$

$$0 = \beta \left( J + \frac{\lambda}{2} \right) + \frac{d\beta}{dx} h_x - gBh_x J + gBi_D Jx$$

$$0 = \frac{d\beta}{dx} + \beta \left( \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} \right) - gBJ + gBi_D J \frac{x}{h_x}$$

$$\frac{d\beta}{dx} + \beta \left( \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} \right) = gBJ \left( 1 - i_D \frac{x}{h_x} \right) \quad (4.10)$$

Обозначим

$$\beta = uv \quad (4.11)$$

Продифференцируем обе части, имеем

$$\frac{d\beta}{dx} = u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx} \quad (4.12)$$

Подставляя в (4.10)

$$u \frac{dv}{dx} + v \frac{du}{dx} + uv \left( \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} \right) = gBJ \left( 1 - i_D \frac{x}{h_x} \right)$$

или

$$u \left[ \frac{dv}{dx} + v \left( \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} \right) \right] + v \frac{du}{dx} = gBJ \left( 1 - i_D \frac{x}{h_x} \right) \quad (4.13)$$

Приравнивая к нулю выражение в больших скобках

$$\frac{dv}{dx} + v \left( \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} \right) = 0 \quad (4.14)$$

Разделим переменные

$$\begin{aligned} \frac{dv}{v} &= - \left( \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} \right) dx \\ -\ln C_1 + \ln V &= - \int \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} dx = - \left( \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{J} \right) \int \frac{dx}{h_x} \\ V &= C_1 \ell - \int \frac{J + \frac{\lambda}{2}}{h_x} dx \end{aligned} \quad (4.15)$$

Общее решение

$$\begin{aligned} \ln V &= - \left( 1 + \frac{\lambda}{2J} \right) \ln(h_{nc} + Jx) + C_1 \\ V &= C_1 (h_{nc} + Jx)^{-\left(1 + \frac{\lambda}{2J}\right)} \end{aligned} \quad (4.16)$$

Подставляя (4.16) в (4.13) получим

$$C_1(h_{nc} + Jx)^{-\left(\frac{\lambda}{2J}+1\right)} \frac{du}{dx} = gBJ \left(1 - i_{\Delta} \frac{x}{h_x}\right)$$

Откуда

$$\begin{aligned} \frac{du}{dx} &= \frac{gBJ \left(1 - i_{\Delta} \frac{x}{h_x}\right)}{(h_{nc} + Jx)^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}} = gBJ \left(1 - i_{\Delta} \frac{x}{h_x}\right) \cdot h_x^{\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)} = \\ &= gBJ \cdot h_x^{1+\frac{\lambda}{2J}} = gBJi_{\Delta} \cdot h_x^{\frac{\lambda}{2J}} \cdot x \\ \int du &= \int gBJ \cdot h_x^{1+\frac{\lambda}{2J}} dx - \int gBJi_{\Delta} \cdot h_x^{\frac{\lambda}{2J}} \cdot x dx \\ u &= gBJ \cdot \frac{h_x^{1+\frac{\lambda}{2J}+1}}{\left(1+\frac{2\lambda}{2J}+1\right)J} - gBJi_{\Delta} \frac{h_x^{\frac{\lambda}{2J}+1}}{\left(\frac{\lambda}{2J}+1\right) \cdot J} \cdot x \cdot gBJi_{\Delta} h_x^{\frac{\lambda}{2J}} \cdot \frac{x^2}{2} = \\ &= gB \frac{h_x^{2+\frac{\lambda}{2J}}}{2+\frac{\lambda}{2J}} - gBi_{\Delta} \frac{h_x^{1+\frac{\lambda}{2J}}}{\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)} \cdot x - gBi_{\Delta} h_x^{\frac{\lambda}{2J}} \cdot \frac{x^2}{2} + C \end{aligned}$$

тогда

$$\beta = uv = \left[ gB \frac{h_x^{2+\frac{\lambda}{2J}}}{2+\frac{\lambda}{2J}} - gBi_{\Delta} \frac{h_x^{1+\frac{\lambda}{2J}}}{\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)} \cdot x - gBi_{\Delta} h_x^{\frac{\lambda}{2J}} \cdot \frac{x^2}{2} + C \right] h_x^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)} \quad (4.17)$$

общее решение которого

$$\beta = 2gBJ \frac{h_x}{4J + \lambda} - gBi_{\Delta} \frac{x^2}{2} \cdot h_x^{-1} + Ch^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)} \quad (4.18)$$

при  $x=0$   $\beta = u_{яnc}^2 (\epsilon_{яnc} + 0.0416\epsilon_c)$

$$\beta = 2gBJ \frac{h_{nc}}{4J + \lambda} + Bi_{\Delta} + Ch_{nc}^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}$$

постоянное

$$C = \frac{\beta - 2gBJ \frac{h_{nc}}{4J + \lambda}}{h_{nc}^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}} = \frac{u_{яnc}^2 (\epsilon_{яnc} + 0.0416\epsilon_c) - 2gBJ \frac{h_{nc}}{4J + \lambda}}{h_{nc}^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}} \quad (4.19)$$

Подставляя постоянное в общее решение

$$\beta = 2gBJ \frac{h_x}{4J + \lambda} - gBi_{\Delta} \frac{x^2}{2} \cdot h_x^{-1} + \frac{u_{яnc}^2 (\epsilon_{яnc} + 0.0416\epsilon_c) - 2gBJ \frac{h_{nc}}{4J + \lambda}}{h_{nc}^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}} \cdot h_x^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)} \quad (4.20)$$

$$\bar{B} = \frac{B}{\epsilon_0} \quad n = \frac{B - \epsilon_0}{B} = \frac{\ell g \sin \alpha g}{B}$$

Для створа X-X  $\beta$  равна

$$\begin{aligned} \beta &= \int_0^{\epsilon_{я} + \epsilon_1} u^2 dx = u_{я1}^2 (\epsilon_{я1} + 0.0416\epsilon_1) \\ u_{я1}^2 (\epsilon_{я1} + 0.0416\epsilon_1) &= u_{яnc}^2 (\epsilon_{яnc} + 0.0416\epsilon_c) \frac{h_{nc}^{\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}}{h_x^{\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}} - \frac{2gBJ \cdot h_{nc}}{4J + \lambda} \cdot \frac{h_{nc}^{\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}}{h_x^{\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}} + \\ &+ 2gBJ \frac{h_x}{4J + \lambda} - gBi_{\Delta} \frac{x^2}{2} \cdot h_x^{-1} \end{aligned} \quad (4.21)$$

Разделим на  $u_{яnc}^2 \epsilon_0$

$$\begin{aligned} \left( \frac{u_{я1}}{u_{яnc}} \right)^2 &= \frac{P_2}{P_1} \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{2g\bar{B}Jh_{nc}}{4J + \lambda} \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} \frac{1}{u_{яnc}^2 P_1} + \\ &+ \frac{2g\bar{B}J \cdot h_{nc}}{(4J + \lambda)P_1 u_{яnc}^2} - \frac{g\bar{B}i_{\Delta} x^2}{2h_x u_{яnc}^2 P_1} \end{aligned} \quad (4.22)$$

$$\bar{B} = \frac{B}{\epsilon_0} = \frac{1}{\frac{\epsilon_0}{B}} = \frac{1}{\frac{B - \ell_{\Delta} g \sin \alpha_{\Delta}}{B}} = \frac{1}{1 - n}$$

$$P_1 = \bar{\epsilon}_{я1} + 0.0416\bar{\epsilon}_1; \quad P_2 = \bar{\epsilon}_{яnc} + 0.0416\bar{\epsilon}_c$$

$$\frac{2J}{(4J + \lambda)(1 - n)P_1} \frac{hx}{gh_{nc}} \cdot \frac{i_{\Delta} x^2}{2(1 - n)h_x} \frac{u_{яnc}^2}{gh_{nc}} h_{nc}$$

$$\frac{u_{яnc}^2}{gh_{nc}} = Fr_{яnc}$$

$$\left( \frac{u_{я1}}{u_{яnc}} \right)^2 = \frac{(\bar{\epsilon}_{яnc} + 0.416\epsilon_1)}{(\epsilon_{я1} + 0.416\epsilon_1)} \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{2J}{(4J + \lambda)(1 - n)Fr_{яnc}M_1}$$

$$\cdot \frac{\left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}}}{\left( \frac{h_x}{h_{nc}} \right)^{-\left(1+\frac{\lambda}{2J}\right)}} + \frac{2J}{(4J + \lambda)(1 - n)M_1 Fr_{яnc}} \frac{hx}{h_{nc}} - \frac{i_{\Delta} x^2}{2(1 - n)M_1 Fr_{яnc}} \left( \frac{x^2}{h_x h_{nc}} \right)$$

$$\left( \frac{u_{я1}}{u_{яnc}} \right)^2 = \frac{M_2}{M_1} \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{P}{M_1} \left[ \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{h_x}{h_{nc}} \right] - \frac{i_{\Delta}}{2(1 - n)M_1 Fr_{яnc}} \left( \frac{x^2}{h_x h_{nc}} \right)$$

где  $M_1 = \bar{\epsilon}_{я1} + 0.416\epsilon_1$   $M_2 = \bar{\epsilon}_{яnc} + 0.416\epsilon_c$   $Fr_{яnc} = \frac{u_{яnc}^2}{gh_{nc}}$

$$P = \frac{2J}{(4J + \lambda)(1-n)Fr_{nc}}; \quad J = i_D - i$$

$$n = \ell_D \text{Sin} \alpha_D / B$$

$$J = i_D; \quad n = \ell_D \text{Sin} \alpha_D / B$$

$$\bar{\epsilon}_{я1} = \epsilon_{я1} / \epsilon_0; \quad \bar{\epsilon}_1 = \epsilon_1 / \epsilon_0; \quad \bar{\epsilon}_{яnc} = \epsilon_{яnc} / \epsilon_0; \quad \epsilon_c = \epsilon_c / \epsilon_0; \quad h_x = h_{nc} + JX$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_c + 0.27x$$

$$\left( \frac{u_{я1}}{u_{яnc}} \right)^2 = \frac{(\bar{\epsilon}_{яnc} + 0.416\bar{\epsilon}_c) h_{nc}}{(\bar{\epsilon}_{я1} + 0.416\bar{\epsilon}_1) h_x} \left[ \frac{h_{nc}^{\frac{\lambda}{2J}}}{h_x} - \frac{P}{(\bar{\epsilon}_{я1} + 0.416\bar{\epsilon}_1)} \left[ \left( \frac{h_{nc}^{\frac{\lambda}{2J}}}{h_x} \right) - \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{-2} \right] \right] =$$

$$- \frac{i_D}{2(1-n)(\bar{\epsilon}_{я1} + 0.416\bar{\epsilon}_1) Fr_{nc}} \bar{x}^2 \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)$$

$$\bar{x}^2 = \frac{x^2}{h_{nc}^2} - \left( \frac{x}{h_{nc}} \right)^2$$

Проверим при  $x=0$ ;  $h_x = h_{nc}$ ;  $M_1 = M_2$

$$\left( \frac{u_{я1}}{u_{яnc}} \right)^2 = 1 - 0 - 0 \quad u_{я1} = u_{яnc}$$

Окончательно получим зависимость для определения скорости в ядре

$$\left( \frac{u_{я1}}{u_{яnc}} \right)^2 = \frac{(\bar{\epsilon}_{яnc} + 0.416\bar{\epsilon}_c) \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}}}{(\bar{\epsilon}_{я1} + 0.416\bar{\epsilon}_1)} \left[ \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \left( \frac{h_{nc}}{h_x} \right)^{-1} \right] -$$

$$- \frac{i_D}{2(1-n)(\bar{\epsilon}_{я1} + 0.416\bar{\epsilon}_1) Fr_{nc}} \frac{h^2}{\bar{h}_x \bar{h}_{nc}} \quad (4.23)$$

где  $\ell = x / \epsilon_0$ ;  $\bar{h}_x = h_x / \epsilon_0$ ;  $\bar{h}_{nc} = h_{nc} / \epsilon_0$ ;

$$P = \frac{2J}{(4J + \lambda)(1-n)Fr_{nc}}; \quad Fr_{nc} = u_{яnc}^2 / \partial h_{nc}$$

Очевидно, когда  $x = \ell$   $\ell = \ell_{\epsilon 1} / \epsilon_0$ ;  $h_x = h_{cж}$

$$\epsilon_{я1} = \epsilon_{явс}; \quad \bar{\epsilon}_{явс} = \epsilon_{явс} / \epsilon_0; \quad \epsilon_1 = \epsilon_{1cж}; \quad \bar{\epsilon}_{1cж} = \epsilon_{1cж} / \epsilon_0;$$

$$u_{я1} = u_{явс}; \quad \bar{h}_{cж} = h_{cж} / \epsilon_0$$

Подставляя их в полученное уравнение  $\epsilon$  (это равносильно написанию и решению уравнения сохранения импульса для сечений ПС ВС), получим

$$\left( \frac{u_{явс}}{u_{яnc}} \right)^2 = \frac{\bar{\epsilon}_{явс} + 0.416\bar{\epsilon}_c}{\bar{\epsilon}_{явс} + 0.416\bar{\epsilon}_{1cж}} \left( \frac{h_{nc}}{h_{cж}} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{P}{(\bar{\epsilon}_{явс} + 0.416\bar{\epsilon}_{1cж})} \left[ \left( \frac{h_{nc}}{h_{cж}} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \left( \frac{h_{nc}}{h_{cж}} \right)^{-1} \right] -$$

$$= \frac{i_D}{2(1-n)(\bar{\epsilon}_{явс} + 0.416\bar{\epsilon}_{cж}) Fr_{nc}} \frac{\bar{\ell}_{\epsilon 1}^2}{\bar{h}_{cж} \bar{h}_{nc}} \quad (4.24)$$

$$h_{сж} = h_{nc} + J\ell_{\epsilon 1}; \quad J = i_D - i$$

Для установления закономерности изменения скоростей в ядре на втором участке растекания между створами максимального вертикального сжатия ВС и конца водоворотной зоны К-К можно воспользоваться уравнения сохранения импульса в потоке. Задача в данном случае отличается наличием обратного уклона водной поверхности.

$$J = i_D + i_{об}; \quad h_x = h_{сж} + Jx = h_{сж} + (i_D + i_{об})x$$

где среднее значение 
$$i_{об} = \frac{h_{\bar{o}} - h_{сж}}{\ell_{\epsilon 2}}$$

Решение задачи аналогично вышерассмотренному, поэтому окончательно запишем

$$\begin{aligned} \left( \frac{u_{я2}}{u_{явс}} \right)^2 &= \frac{\bar{\epsilon}_{явс} + 0.416\bar{\epsilon}_{сж}}{\bar{\epsilon}_{я2} + 0.416\bar{\epsilon}_2} \left( \frac{h_{сж}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{P}{(\bar{\epsilon}_{я2} + 0.416\bar{\epsilon}_2)} \left[ \left( \frac{h_{сж}}{h_x} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \left( \frac{h_{сж}}{h_x} \right)^{-1} \right] - \\ &= \frac{i_D}{2(1-n)(\bar{\epsilon}_{я2} + 0.416\bar{\epsilon}_2)Fr_{сж}} \frac{\ell^2}{\bar{h}_x \bar{h}_{сж}} \end{aligned} \quad (4.25)$$

Здесь  $x$  изменяется от ВС до К-К; от 0 до  $\ell_{\epsilon 2}$

$$Fr_{сж} = \frac{u_{яBC}^2}{gh_{сж}}$$

$$P = \frac{2J}{(4J + \lambda)(1-n)Fr_{сж}}$$

при  $x = \ell_{\epsilon 2}$   $h_x = h_{\bar{o}}$

$$\begin{aligned} \left( \frac{u_{я2}}{u_{явс}} \right)^2 &= \frac{\bar{\epsilon}_{явс} + 0.416\bar{\epsilon}_{1сж}}{\bar{\epsilon}_{я2} + 0.416\bar{\epsilon}_2} \left( \frac{h_{сж}}{h_{\bar{o}}} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{P}{\bar{\epsilon}_{я2} + 0.416\bar{\epsilon}_2} \left[ \left( \frac{h_{сж}}{h_{\bar{o}}} \right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \left( \frac{h_{сж}}{h_{\bar{o}}} \right)^{-1} \right] - \\ &= \frac{i_D}{2(1-n)(\bar{\epsilon}_{я2} + 0.416\bar{\epsilon}_2)Fr_{сж}} \frac{\ell_{\epsilon 2}^2}{\bar{h}_{\bar{o}} \bar{h}_{сж}} \end{aligned} \quad (4.26)$$

Если учесть, что скорость в ядре в створе К-К незначительно отличается от бытовых  $u_{я2} \approx (1.05 \div 1.1)V_{\bar{o}}$ , этим уравнением можно воспользоваться для вычисления значения  $u_{явс}$

## 4.2. Закономерности расширения потока стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров

(Случай когда относительная длина водопропускной части  $l_c/l_d < 0,5$ )

Физическая картина потока стесненного комбинированной дамбой предложенной конструкции имеет много общего с ранее рассмотренными [1, С.-26; 15, С.-57, 17, С.-26; 26, С.-78-82; 70, С.-25] для равнинных рек, отличаясь, как качественно, так и количественно. Обтекания происходит с образованием участка подпора между сечениями А-А и 0-0, планового сжатия между створами 0-0 и ПС, вертикального сжатия между створами ПС-ВС, участков восстановления между створами ВС и К-К и К-К-Б-Б (рис.4.2).

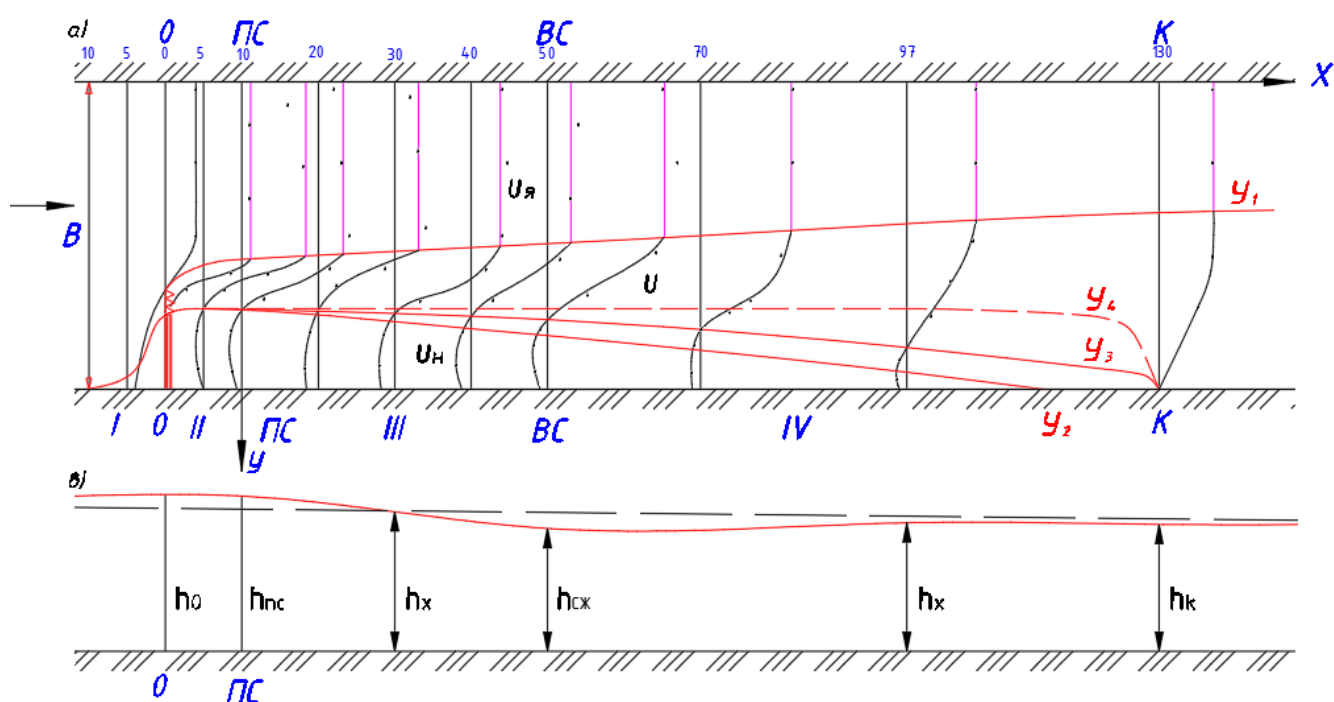


Рис.4.2 Сравнение расчётных и экспериментальных эпюр скоростей. а) план, в) продольный профиль

$$Q = 7 \text{ л/с}; \quad \alpha_d = 90^\circ; \quad i = 0,002; \quad n_d = 0,4; \quad Fr = 0,15$$

«Спокойный» режим – расчёт, ••• - опыт.

Наличие продольного уклона  $i_d < i_{кр}$  характерных для предгорных участков рек влияет на местоположения створов вертикального и планового сжатия, которые не совпадают. Вертикальное сжатия ВС продолжается и за створом планового сжатия ПС за створом вертикального сжатия происходит возрастание уровня воды до конца водоворотной зоны и продолжается этот подъем и в пределах участка восстановления.

Обнаружено, что при спокойном режиме бытового потока  $i_D < i_{кр}$  формирования двух режимов стесненного потока, «спокойный» когда глубины больше критических и «критический» когда глубины в деформированном потоке равны или меньше критических.

Струйный характер скоростного поля сохраняется при обтекании потоком комбинированной дамбы с водопропускной частью [27, С.-39-41] из тетраэдров и растекания потока происходит в спутном потоке. Поток можно рассматривать состоящим из слабовозмущенного ядра, спутного потока, зоны интенсивного турбулентного перемешивания и обратных токов. В зависимости от степени стеснения потока  $n_D$  и соотношения  $n_T$  и  $n_C$  может формироваться различные схемы обтекания: когда  $l_C/l_D < 0,5$  создается единая зона интенсивного турбулентного перемешивания с охватом и зоны спутного потока за сквозной частью дамбы, при этом работа комбинированной дамбы приближается к работе поперечных глухих дамб, когда  $l_C/l_D > 0,5$  формируется две зоны интенсивного турбулентного перемешивания, первая между слабовозмущенным ядром и спутным потоком, вторая между спутным потоком и водоворотной зоной. Здесь рассматривается первый случай. Установлено что распределение скоростей в зоне интенсивного турбулентного перемешивания подчиняется теоретической зависимости Шлихтинга-Абрамовича при наличии начального участка струи (рис.2.15)

$$\frac{U_{я} - U}{U_{я} - U_H} = (1 - \eta^{1,5})^2 \quad (4.27)$$

здесь  $U_{я}$ ,  $U_H$ ,  $U$  - скорости в ядре, обратных токах и в зоне интенсивного турбулентного перемешивания  $\eta = \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} = \frac{y_2 - y}{b}$  - относительная ордината точки где определяется скорость  $U$ ,  $b$  - ширина зоны интенсивного турбулентного перемешивания [88, С. 70-74; 89, С. 48].

Теоретическими исследованиями следовало установить закономерности изменения скоростей в зоне слабовозмущенного ядра  $u_{я1}$ , обратные скорости  $u_H$  и длины водоворотной зоны в области растекания  $l_{e1}$   $l_{e2}$  или  $l_e$

Для определения закономерности изменения скоростей в пределах третьего участка воспользуемся уравнением сохранения импульса в потоке, которые для сечений ПС и Х-Х запишется

$$\rho u_{яnc}^2 \epsilon_{яnc} h_{nc} + \rho h_{nc} \int_0^{\epsilon_c} u^2 dy + \rho u_{nc}^2 h_{nc} (B - \epsilon_{яnc} - \epsilon_c) + \frac{\gamma B}{2} (h_{nc}^2) = \quad (4.28)$$

$$\rho h_x \int_0^{B_{я1}+B} u^2 dy + \rho u_H^2 h_x (B - \epsilon_{я1} - \epsilon_1) + \rho \int_0^x \int_0^{B_{я1}+B_1} \frac{\lambda u^2}{2} dy dx + \frac{\gamma B}{2} h_x^2 - \frac{\gamma}{2} (h_{nc} + h_x) B i_{Дx}$$



где, глубина потока в сечении X-X определяется

$$h_x = h_{nc} + i_d x - ix = h_{nc} - x(i - i_d) = h_{nc} + Jx$$

$$J = i_d - i, \quad \frac{dh}{dy} = J = \frac{h_{nc} - h_x}{\ell_{B1}}$$

Выполняя интегрирование в (4.28) с учетом (4.27) приходим к интегральному уравнению решение которого приводит к следующей зависимости для определения скоростей в слабозамушенном ядре

$$\left(\bar{U}_{яi}\right)^2 = \frac{F_{1i}}{F_{2i}} \left(\bar{h}_i\right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \frac{P_i}{F_{2i}} \left[ \left(\bar{h}_i\right)^{1+\frac{\lambda}{2J}} - \left(\bar{h}_i\right)^{-1} \right] - \frac{i_d \cdot \Psi}{2(1-n_\Gamma - n_C)F_{2i}F_{ri}} \quad (4.29)$$

При определении скоростей в слабозамушенном ядре:

На участке III необходимо принимать

$$\bar{U}_{яi} = \bar{U}_{я} = \frac{U_{я1}}{U_{яПС}}; \quad F_{1i} = \bar{B}_{яПС} + 0,416\bar{B}_C; \quad F_{2i} = \bar{B}_{я1} + 0,416\bar{B}_1; \quad \bar{h}_i = h_{nc}/h_x;$$

$$P_i = \frac{2J}{(4J + \lambda)(1-n_\Gamma - n_C)Fr_{nc}}; \quad Fr_i = Fr_{nc} = U_{яПС}^2 / gh_{nc} \quad (4.30)$$

$\Psi = \frac{\xi^2}{h_x h_{nc}}$ ;  $\xi = x/b_0$ ;  $x$  – изменяется от ПС до ВС или от о до

$$\ell_{b1} \bar{h}_x = h_x / b_0 \quad \bar{h}_{nc} = h_{nc} / b_0$$

$$n_\Gamma = \ell_\Gamma \sin \alpha_d / B; \quad n_C = \ell_C \sin \alpha_d / B;$$

На участке IV необходимо принимать

$$\bar{U}_{яi} = \bar{U}_{я2} = U_{я2} / U_{яВС}; \quad F_{1i} = \bar{B}_{яВС} + 0,416\bar{B}_{СЖ}; \quad F_{2i} = \bar{B}_{я2} + 0,416\bar{B}_2; \quad h_i = h_{сж} / h_x; \quad (4.31)$$

$$P_i = \frac{2J}{(4J + \lambda)(1-n_\Gamma - n_C)Fr_{сж}};$$

$Fr_i = Fr_{сж} = U_{яВС}^2 / gh_{сж}$   $\Psi = \frac{\xi^2}{h_x h_{сж}}$ ;  $\xi = x/b_0$ ;  $x$  – изменяется от ВС до К-К или от о до

$$\ell_{b2} J = i_d + i_{об} h_x = h_{сж} + J_x = h_{сж} + (i_d + i_{об})x \quad i_{об} = \frac{h_0 - h_{сж}}{\ell_{b2}} \quad \text{среднее значение на участке}$$

Обратные скорости в водоворотной зоне определены из уравнения сохранения расхода [27, С. 39-41] записанных для выше указанных участков и для створов ПС и X-X имеет вид

$$U_{яПС} b_{яПС} h_{ПС} + h_{ПС} \int_0^{B_C} u dy + U_{нПС} h_{ПС} (B - b_{яПС} - b_C) =$$

$$U_{я1} b_{я1} h_x + h_x \int_0^{B_1} u dy + U_H h_x (B - b_{я1} - b_1) \quad (4.32)$$

Выполняя интегрирование с учетом (4.27) получено формула для вычисления обратных скоростей

$$m_i = \frac{M_i \bar{\theta}_i - T_i}{1 + \frac{T_i}{(1 - n_r - n_c)}} \quad (4.33)$$

для III участка

$$M_i = \frac{U_{япс} \cdot h_{пс}}{U_{я1} \cdot h_{пс} + J_x}$$

$$\bar{\theta}_i = (1 - m_{nc}) (\bar{b}_{япс} + 0,55 \bar{b}_c) + \frac{m_{nc}}{(1 - n_r - n_c)} \quad (4.34)$$

$$T_i = \bar{b}_{я1} + 0,55 \bar{b}_1 m_i = m_{nc} = U_{япс} / U_{япс} J = i_d - i$$

для IV участка

$$M_i = \frac{U_{явс} \cdot h_{сж}}{U_{я2} \cdot h_{сж} + J_x} \bar{\theta}_i = (1 - m_{вс}) (\bar{b}_{явс} + 0,55 \bar{b}_{сж}) + \frac{m_{вс}}{(1 - n_r - n_c)} \quad (4.35)$$

$$J = i_d + i_{об} i_{об} = \frac{h_{об} - h_{сж}}{\ell_{b2}}$$

Длина водоворотной зоны может быть определена из уравнения неравномерного движения записанного с учетом касательных турбулентных напряжений на боковых поверхностях [27, С. 39-41] по Прандтлю

$$i = \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{1}{\omega^3} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\alpha Q^2}{g} \cdot \frac{B_x}{\omega^3} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{Q^2 \lambda}{\omega^2 2gh} + \frac{K^2 Q^2}{g \omega^2 b} (1 - m^2) \quad (4.36)$$

где  $\omega$  – площадь поперечного сечения транзитного потока: К – постоянная Кармана:  $\alpha$  – корректив кинетической энергии.

При интегрировании принято

$$i = i_{cp} = \frac{h_{nc} - h_{сж}}{\ell_{b1}}; \quad i_{об} = \frac{h_{об} - h_{сж}}{\ell_{b2}}; \quad \frac{dh}{dl} = J = const$$

Порядок интегрирования по участкам остаются прежний [15, С.57; 17, С. 26. 24, С. 48-54] поэтому окончательно запишем

$$\ell_{об1} = \frac{A}{E} \ell_n \frac{C_1}{C_2} \sqrt{\frac{DC_2^2 + E}{DC_1^2 + E}} \quad (4.37)$$

Для третьего участка

$$\ell_{об1} = \ell_{об1}; \quad A = 2 \cdot \alpha \cdot Q^2 \cdot h_{cp}; \quad D = -2 \cdot g \cdot i_{cp} \cdot h_{cp};$$

$$E = Q^2 \left( \frac{\lambda_{об} h_{cp}}{B_{cp}} + \lambda_d + 2,88k \frac{h_{cp}}{b_{cp}} - 4\alpha J \right) \quad (4.38)$$

$$h_{cp} = \frac{h_{nc} - h_{сж}}{2}; \quad b_{cp} = \frac{b_{1nc} - b_{1вс}}{2}; \quad b_{1x} = b_{1nc} + 0,27x;$$

$$B_{cp} = \frac{b_{TBC} + b_{Tnc}}{2}; \quad C_1 = b_{TBC}$$

$$C_2 = b_{Tnc} \alpha = 1,15$$

Для четвертого участка

$$\ell_{\delta i} = \ell_{\delta 2}; \quad D = -2 \cdot g \cdot i_{об} \cdot h_{cp}; \quad h_{cp} = \frac{h_{сж} + h_{\delta}}{2};$$

$$b_{cp} = \frac{b_{1BC} + b_{1x}}{2}; \quad B_{cp} = \frac{b_{TBC} + B}{2};$$

$$J = i_{Д} + i_{об} b_{1x} = b_{1nc} + 0,27x\alpha = 1,35 \quad (4.39)$$

$\lambda_{Д}, \lambda_{\delta}$  – коэффициенты гидравлического трения дна и берега.  $k$  – постоянная Кармана равна 0,21.

В результате проведённых исследований разработан метод расчета поле скоростей потока стесненного комбинированной дамбой с тетраэдрами для условий предгорных участков рек. Задача реализована для первого «спокойного» режима с использованием интегрального соотношения характеризующего закон сохранения импульса, уравнений сохранения расхода и неравномерного движения записанного с учетом касательных турбулентных напряжений на боковых поверхностях водоворота по Прандтлю. Получены расчетные зависимости для определения изменения скоростей в слабозвмущенном ядре  $U_{яi}$  обратных токах  $U_{н}$  и длины водоворотных зон в области растекания  $l_{B1}, l_{B2}$ . Непосредственные расчеты и сравнение их с данными экспериментальных исследований показали правильность полученных теоретических решений (рис.4.2).

### 4.3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСШИРЕНИЯ ПОТОКА ЗА КОМБИНИРОВАННОЙ ДАМБОЙ НА ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

(Случай когда относительная длина водопроницаемой части  $\ell_c/\ell_{Д} < 0,5$

критический режим  $n > 0,3 \quad Fr > 0,15$ )

Экспериментальными исследованиями было обнаружено наличие двух режимов расширения потока в зависимости от уклона дна при  $i_{Д} < i_{кр}$  «спокойный» а при  $i_{Д} > i_{кр}$  «критический». На эти режимы основное влияние оказывает также степень стеснение и число Фруда.

В предыдущем разделе было предоставлено решение задачи для случая  $i_{Д} < i_{кр}$  который охватывают предгорные участки рек и когда наблюдается «спокойный» режим.

При дальнейшем увеличении степени стеснения потока  $n > 0.3$  и числа Фруда  $Fr > 0.15$  наблюдается «критический режим». Здесь даётся решение задачи для этого случая.

Задача в данном случае отличается от ранее рассмотренной неравномерным распределением скоростей в слабозмущенном ядре, вертикальное сжатие потока продолжается до конца водоворотной зоны, значительным сокращением длины водоворотной зоны.

Экспериментально обоснована универсальность распределения скоростей в зонах слабозмущенного ядра и интенсивного турбулентного перемешивания. Теоретическими исследованиями, с использованием основных уравнений прикладной механики разработана методика расчета поле скоростей и установлены плановые размеры водоворотных зон.

Картина взаимодействия потока и комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров имеет много общего со взаимодействием комбинированной дамбой со сквозной частью из свайных рядов [30, С. 158-161; 25, С. 196-201; 92, С. 122] для равнинных рек, отличаясь, как качественно, так и количественно. Формируется участок подпора между сечениями  $\Phi$ - $\Phi$  и  $0$ - $0$ , планового сжатия между створами  $0$ - $0$  и ПС, вертикального сжатия между створами ПС-ВС, участка восстановления между створами ВС и Б-Б (рис.4.3).

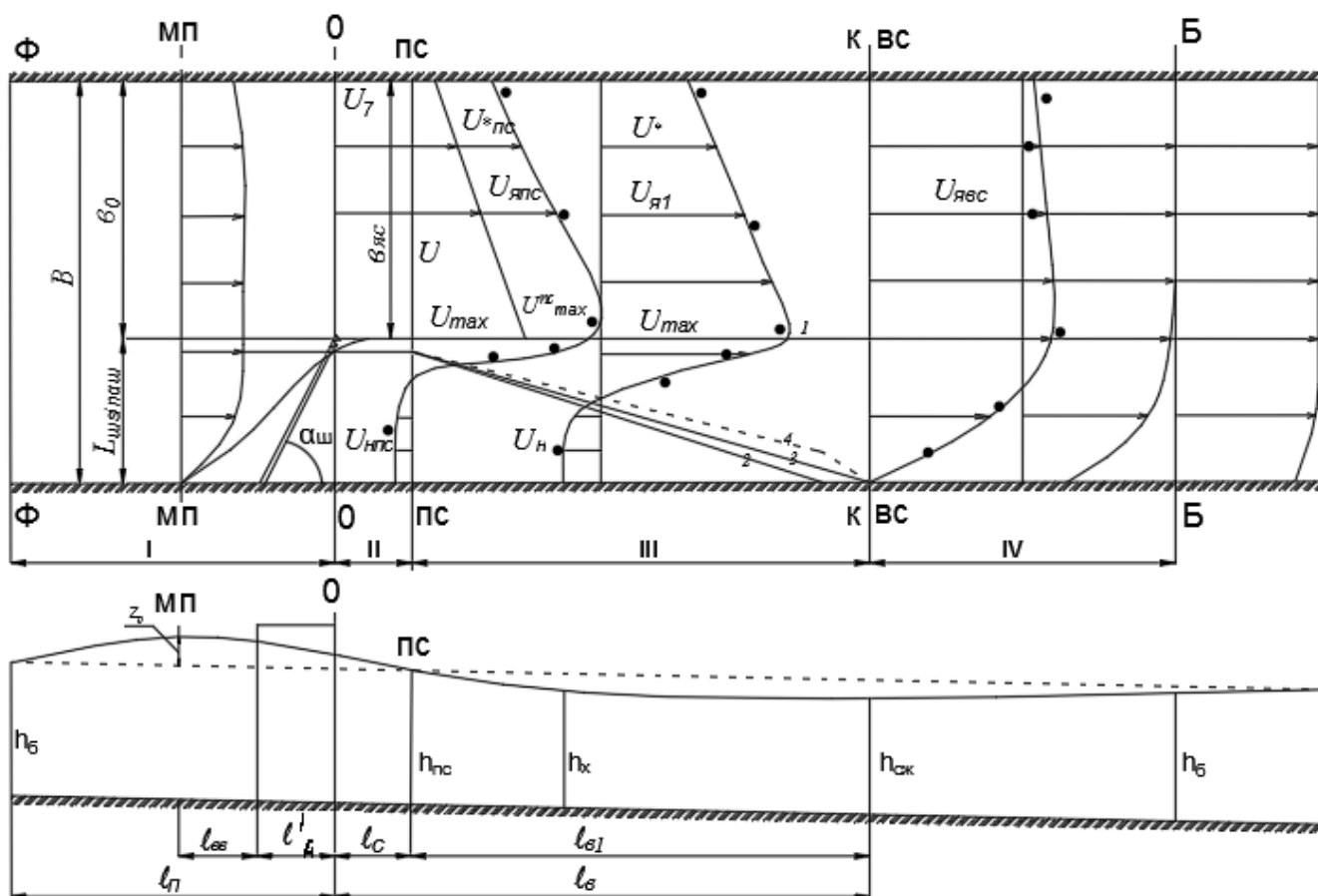


Рис. 4.3. Схема потока стесненного комбинированной дамбой на предгорных участках рек (критический режим)

В расчетной схеме лучи 0<sup>1</sup>-1,0<sup>1</sup>-2,0<sup>1</sup>-3,0<sup>1</sup>-4 границы отдельных зон, как это принято в теории. МП, ПС; О-О, К-К; В-С, Б-Б створы максимального подпора, стеснения, планового сжатия, конец водоворотной зоны, вертикального сжатия, бытового состояния потока. МП, ПС; О-О, К-К; В-С, Б-Б створы максимального подпора, стеснения, планового сжатия, конец водоворотной зоны, вертикального сжатия, бытового состояния потока.

Экспериментально установлен границы зон интенсивного турбулентного перемешивания 0<sup>1</sup>-1 C<sub>1</sub>=0,0, 0<sup>1</sup>-2 C<sub>2</sub>=0,37 (рис.4.4)

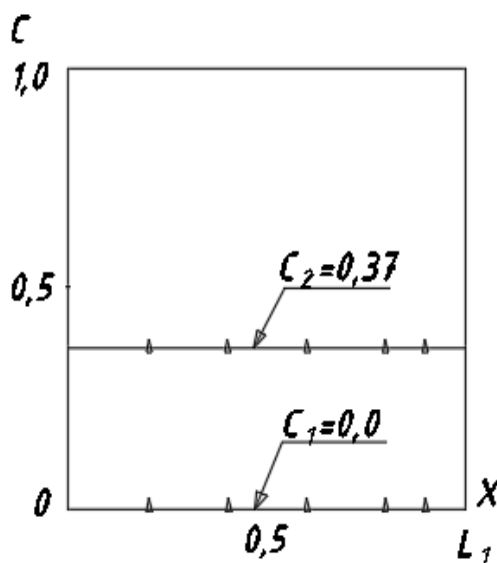


Рис. 4.4 Коэффициенты расширения струи

Экспериментально также установлен, что распределение скоростей в зоне слабовозмущенного ядра подчиняется теоретической зависимости Шлихтинга – Абрамовича (рис.2.15)

Теоретически следовало оценить влияние продольного уклона, других характеристик потока и сооружения на закономерности изменения максимальных скоростей в ядре  $u_{max}$ , вдоль противоположного берега  $u_*$  и установления длины водоворотной зоны  $L_B$ .

Для определения  $u_{max}$  воспользуемся уравнением сохранения импульса в потоке, записанных для сечений ПС и X-X [23, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403037>]

$$\rho h_{nc} \int_0^{\theta_{яc}} u^2 dy + \rho h_{nc} \int_{y_1}^{y_2} u^2 dy + \rho u_{нпс}^2 h_{nc} (B - \epsilon_{яnc} - \epsilon_c) = \rho h_x \int_0^{\theta_{яc}} u^2 dy + \rho h_x \int_{y_1}^{y_2} u^2 dy + \rho u_{нх}^2 h_x (B - \epsilon_{яx} - \epsilon) + \rho \int_0^x \int_0^{\theta_{яx} + \theta} \frac{\lambda u^2}{2} dy \cdot dx + \frac{\gamma B}{2} (h_x^2 - h_{nc}^2) - \frac{\gamma}{2} (h_{nc} + h_x) Bi_{Дx} \quad (4.40)$$

где глубина потока в сечении X-X определяется

$$h_x = h_{nc} + i_{Д}x - ix = h_{nc} + x(i_g - i) = h_{nc} + Ix; \quad I = i_{Д} - i$$

где I-среднее значение приращены глубины на участке растекания

$$\frac{\partial h}{\partial x} = I = \frac{h_{nc} - h}{\ell_g}$$

Выполняя интегрирование с учетом приведенных зависимостей имеем.

$$\begin{aligned} & u_{\max.nc}^2 \epsilon_{яc} h_{nc} (0.316 + 0.268m_{nc} + 0.416m_{nc}^2 + 0.416u_{\max.nc}^2 \epsilon_c h_{nc}) = \\ & = h_x \beta + \frac{\lambda}{2} \int_0^x \beta dx + \frac{gB}{2} (h_x^2 - h_{nc}^2) - \frac{gB}{2} (h_{nc} + h_x) i_g x \end{aligned} \quad (4.41)$$

где

$$F_1 = 0.316 + 0.268m_{nc} + 0.416m_{nc}^2 \quad \beta = \int_c^{\epsilon_{яx} + \epsilon} u^2 dy,$$

$$m_{nc} = \frac{u_{*nc}}{u_{\max.nc}}$$

Общее решения интегрального уравнение имеет вид

$$\beta = -2gBI \frac{(h_{nc} + Ix)}{4I + \lambda} - gBi_g \frac{x^2}{2(h_{nc} + Ix)} + c(h_{nc} + Ix)^{-(1+\frac{\lambda}{2I})} \quad (4.42)$$

Постоянную c находим из граничных условий при x=0

$$\beta = u_{\max.nc}^2 (\epsilon_{яc} F_1 + 0.416\epsilon_c)$$

тогда из (4.42)

$$\beta = -2gBI \frac{h_{nc}}{4I + \lambda} + ch_{nc}^{-(1+\frac{\lambda}{2I})}$$

Откуда [23, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403037>; 25, С. 196-201]

$$c = \frac{\beta + 2gBI \frac{h_{nc}}{4I + \lambda}}{h_{nc}^{-(1+\frac{\lambda}{2I})}} = \frac{u_{\max.nc}^2 (\epsilon_{яc} F_1 + 0.416\epsilon_c) + 2gBI \frac{h_{nc}}{4I + \lambda}}{h_{nc}^{-(1+\frac{\lambda}{2I})}}$$

Подставляя в (4.42) получим частное решение

$$\beta = -2gBI \frac{(h_{nc} + Ix)}{4I + \lambda} - gBi_{Д} \frac{x^2}{2(h_{nc} + Ix)} + \left[ u_{\max.nc}^2 (\epsilon_{яc} F_1 + 0.416\epsilon_c) + 2gBI \frac{h_{nc}}{4I + \lambda} \right] \frac{(h_{nc} + Ix)^{-(1+\frac{\lambda}{2I})}}{h_{nc}^{-(1+\frac{\lambda}{2I})}}$$

С другой стороны

$$\beta = \int_c^{\epsilon_{яx} + \epsilon} u^2 dy = u_{\max}^2 (\epsilon_{я} F_2 + 0.416\epsilon)$$

где

$$F_2 = 0.316 + 0.268m_1 + 0.416m_1^2$$

$$m_1 = \frac{u_*}{u_{\max}}$$

$$u_{\max}^2 (\epsilon_{я} F_2 + 0.416 \epsilon_c) = u_{\max.nc}^2 (\epsilon_{яc} F_1 + 0.416 \epsilon_c) \frac{h_{nc}^{1+\frac{\lambda}{2I}}}{(h_{nc} + Ix)^{1+\frac{\lambda}{2I}}} +$$

$$+ 2gBI \frac{h_{nc}}{(4I + \lambda)} \cdot \frac{h_{nc}^{(1+\frac{\lambda}{2I})}}{(h_{nc} + Ix)^{(1+\frac{\lambda}{2I})}} - 2gBI \frac{(h_{nc} + Ix)}{4I + \lambda} - gBi_g \frac{x^2}{2(h_{nc} + Ix)}$$

разделим на  $u_{*nc}^2 \epsilon_o$

$$\left(\frac{u_{\max}}{u_{\max.nc}}\right)^2 = \frac{1}{(\bar{\epsilon}_{я} F_2 + 0.416 \bar{\epsilon}_c)} \left[ \frac{M + P}{(1 + I\kappa\zeta)^{1+\frac{\lambda}{2I}}} - P(1 + I\kappa\zeta) - \frac{i_D}{2Fr_{nc}(1-n)} \kappa^2 \zeta^2 \right] \quad (4.43)$$

где

$$M = \bar{\epsilon}_{яc} F_1 + 0.416 \bar{\epsilon}_c$$

проверим при  $X=0$

$$\left(\frac{u_{\max}}{u_{\max.nc}}\right)^2 = \frac{\bar{\epsilon}_{яc} F_1 + 0.416 \bar{\epsilon}_c}{\bar{\epsilon}_{яc} F_1 + 0.416 \bar{\epsilon}_c}; \quad u_{\max} = u_{\max.nc}$$

Если пренебречь последним членом учитывающий величину составляющей веса жидкости а также предположить равномерное распределение скоростей в слабовозмущенном ядре  $F_1=1$  приходим к зависимости полученном ранее [15, С. 57; 24, С. 48-54].

Уравнение сохранение расхода для сечений ПС и X-X запищем

$$h_{nc} \int_0^{\epsilon_{яc}} u dy + h_{nc} \int_{\epsilon_{яc}}^{\epsilon_{яc} + \epsilon_c} u dy = h_x \int_0^{\epsilon_{я}} u dy + h_x \int_{\epsilon_{я}}^{\epsilon_{яc} + \epsilon_c} u dy \quad (4.44)$$

Выполняя интегрирование с участвям (1) и (2) получим

$$u_{\max.nc} \epsilon_{яc} h_{nc} (0.45 + 0.55 m_{nc}) + 0.55 u_{\max.nc} \epsilon_c h_{nc} = u_{\max} \epsilon_{я} h_x (0.45 + 0.55 m_1) + 0.55 u_{\max} \epsilon_c h_x \quad (4.45)$$

где

$$m_1 = \frac{u_*}{u_{\max}}$$

из (4.45) получим

$$\frac{u_{\max}}{u_{\max.nc}} = \frac{[\bar{\epsilon}_{яc} (0.45 + 0.55 m_{nc}) + 0.55 \bar{\epsilon}_c]}{[\bar{\epsilon}_{я} (0.45 + 0.55 m_1) + 0.55 \bar{\epsilon}_c] (1 + I\kappa\zeta)} \quad (4.46)$$

Решая (4.46) и (4.43) совместно

приходим к квадратному уравнению относительно  $m_1$

$$A_1 m_1 + A_2 m_1 + A_3 = 0 \quad (4.47)$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= 0.416 \bar{e}_y \cdot N^2 - 0.3025 \bar{e}_y^2 (1 + \text{Iк}\zeta)^2 R \\ A_2 &= 0.268 \bar{e}_y \cdot N^2 - (1 + \text{Iк}\zeta)^2 R \bar{e}_y (0.495 \bar{e}_y + 0.605 \bar{e}) \\ A_3 &= \bar{e}_y \cdot N^2 (0.316 + 0.416 \bar{e}) - (0.45 \bar{e}_y + 0.55 \bar{e})^2 (1 + \text{Iк}\zeta)^2 R \\ N &= \bar{e}_{\text{яс}} (0.45 + 0.55 m_{nc}) + 0.55 \bar{e}_c \\ R &= \frac{M + P}{(1 + \text{Iк}\zeta)^{1 + \frac{\lambda}{2I}}} - P (1 + \text{Iк}\zeta) - \frac{i_d \text{К}^2 \zeta^2}{2 F r_{nc} (1 - n)} \\ M &= \bar{e}_{\text{яс}} F_1 + 0.416 \bar{e}_c); \quad P = \frac{2I}{F r_{nc} (4I + \lambda)(1 - n)} \\ m_1 &= \frac{u_*}{u_{\text{max}}} \quad m_{nc} = \frac{u_{*nc}}{u_{\text{max.nc}}} \end{aligned}$$

В уравнение (4.47) за основной принимается корень меньше единицы а корень больше единицы отбрасывается так как противоречит физике явления. Длина водоворотной зоны определяется из уравнения неравномерного движения записанного с учетом касательных турбулентных напряжений на боковых поверхностях [15, С. 57; 27, С. 39-41].

Порядок решения остаётся прежней поэтому окончательно запишем.

$$L_6 = \frac{A}{E} \ell n \frac{e_{\text{твс}}}{e_{\text{тнс}}} \sqrt{\frac{D e_{\text{тнс}} + E}{D e_{\text{твс}}^2 + E}} \quad (4.48)$$

где

$$\begin{aligned} A &= 2\alpha Q^2 h_{\text{ср}}; \quad D = -2g i_{\text{ср}} h_{\text{ср}}; \\ E &= Q^2 \left( \frac{\lambda_\delta h_{\text{ср}}}{B_{\text{ср}}} + \lambda_D + 2.88 \chi^2 \frac{h_{\text{ср}}}{e_{\text{ср}}} - 4\alpha I \right) \\ h_{\text{ср}} &= \frac{h_{nc} + h_c}{2}; \quad e_{\text{ср}} = \frac{e_{1nc} + e_{16c}}{2}; \\ B_{\text{ср}} &= \frac{e_{\text{твс}} + e_{\text{тнс}}}{2}; \quad \chi = 0.21 \end{aligned}$$

$\lambda_\delta, \lambda_D$  - коэффициенты сопротивления берега и дна

Рассмотрена конструкция комбинированной дамбы глухая часть которой выполнена из местного грунта а водопропускная часть из тетраэдров. Такая дамба сочетает положительные стороны глухих и сквозных сооружений. Благодаря тому, что водопропускная часть не требует забивки в дно водоема и значительно сокращается расходы на строительство.



Экспериментально вскрыты особенности работы таких сооружений. Установлен формирование двух режимов обтекания «спокойный» когда  $n_d < 0.3$ ,  $F_r < 0.15$  «критический»  $n_d > 0.3$ ,  $F_r > 0.15$ . Здесь рассмотрен вторая схема обтекания. Обнаружен струйный характер обтекания потоком комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров. Обнаружен, что в зоне слабовозмущенного ядра распределение скоростей в плане имеет неравномерный характер и подчиняется теоретической зависимости Шлихтинга-Абрамовича (рис.2.15)

Распределения скоростей в зоне интенсивного турбулентного перемешивания является универсальными и подчиняются теоретической зависимости Шлихтинга-Абрамовича (рис.2.15).

Экспериментально установлен границы зон интенсивного турбулентного перемешивания  $0'-1 C_1=0.0$ ,  $0'-2 C_2=0,37$  (рис.4.3)

Разработан метод расчета поле скоростей потока стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров для условий предгорных участков рек. Задача реализована для второго «спокойного» режима с использованием интегрального соотношения характеризующего закон сохранения импульса, уравнений сохранения расхода и неравномерного движения записанного с учетом касательных турбулентных напряжений на боковых поверхностях водоворота [27, С. 39-41] по Прандтлю. Получены расчетные зависимости для определения изменения максимальных скоростей в слабовозмущенном ядре  $U_{max}$  у противоположного берега  $U_*$  и длины водоворотных зон в области растекания  $l_{s1}, l_{s2}$ . Непосредственные расчеты и сравнение их с данными экспериментальных исследований (рис.4.4) показали правильность полученных теоретических решений.

#### **4.4. Растекание потока, стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров, в области сжатия**

(Случай когда относительная длина сквозной части  $l_c/l_d > 0,5$ )

При обтекании комбинированной дамбы с тетраэдрами сохраняется струйный характер протекания потока. Происходить образования участка подпора между сечениями А-А и 0-0, планового сжатия между створами 0-0 и PS, вертикального сжатия между створами PS-VS, участка растекания между створами PS и К-К и восстановления между створами К-К и В-В (Рис.4.5).

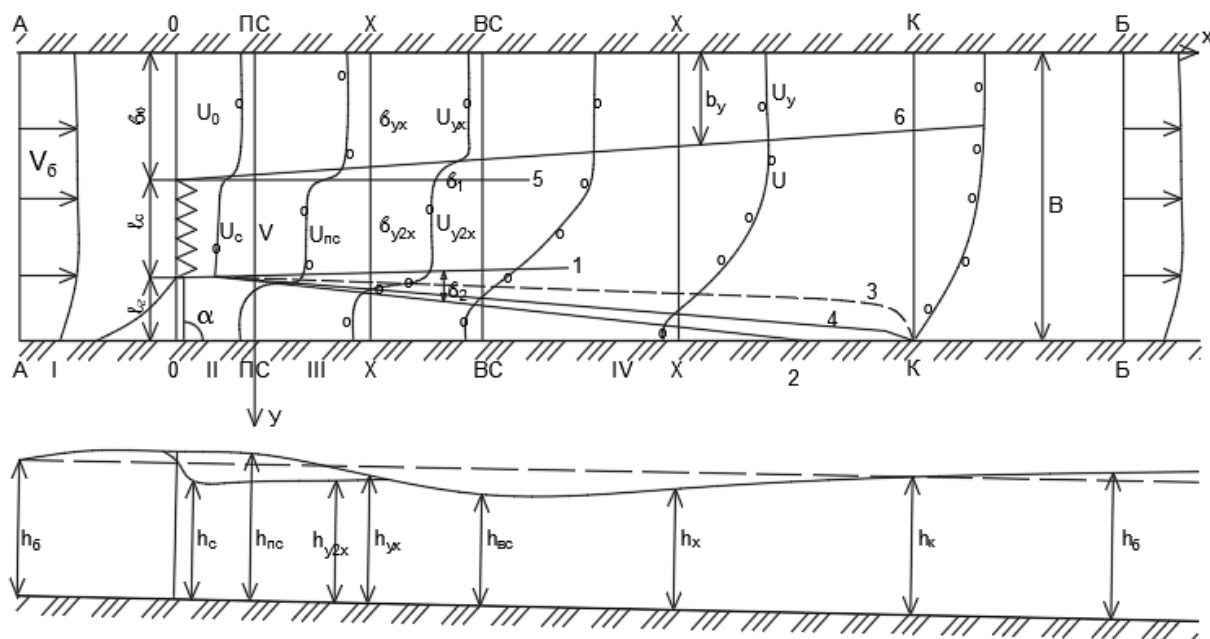


Рис 4.5. Схема потока стесненного комбинированной дамбой с водопропускной частью из тетраэдров  $\ell_s/\ell_d \geq 0,5$  (спокойный режим)

Наличие продольного уклона  $i_d < i_{kr}$  характерных для предгорных участков рек местоположения створов вертикального и планового сжатия не совпадают. Вертикальное сжатия продолжается и за створом планового сжатия. За створом вертикального сжатия происходит возрастание уровня воды до конца водоворотной зоны и продолжается этот подъем и в пределах участка восстановления. За сквозной частью происходит спад уровней и их восстановления в областях сжатия. В целом поперечный перепад сохраняется до конца этих областей.

Поток можно рассматривать состоящим из слабовозмущенного ядра, спутного потока, зон интенсивного турбулентного перемешивания и обратных токов. Рассматриваемом случае, когда  $\ell_s/\ell_d > 0,5$  формируется две зоны интенсивного турбулентного перемешивания, первая между слабовозмущенным ядром и спутным потоком, вторая между спутным потоком и водоворотной зоной. Установлено что распределение скоростей в зонах интенсивного турбулентного перемешивания подчиняются теоретической зависимости Шлихтинга-Абрамовича при наличии начального участка струи (рис.2.15).

$$\text{В первой зоне от } Y_5 \text{ до } Y_6; U_{yix} = U_{yx}; U_i = U_{y2x}; \eta = \frac{Y_5 - Y}{b_1}; \quad (4.49)$$

$$b_1 = (C_1 + C_2)x = (0,08 + 0,04)x = 0,12x \quad (\text{рис.4.6})$$

$$\text{Во второй зоне от } Y_1 \text{ до } Y_2; U_{yix} = U_{y2x}; U_i = U_n = 0; \eta = \frac{Y_2 - Y}{b_2}; \quad (4.50)$$

$$b_2 = (C_3 + C_4)x = (0,1 + 0,14)x = 0,24x \quad (\text{рис.4.6})$$

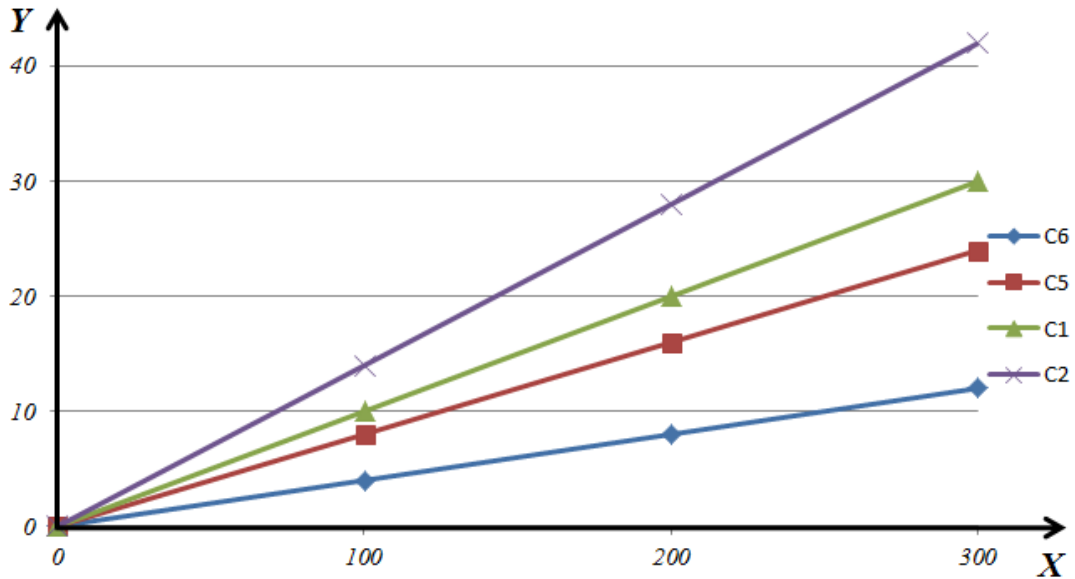


Рис. 4.6. Углы расширения зон интенсивного турбулентного перемешивания.

Уравнения неразрывности потока для створов 0-0 и А-А в верхнем бьефе, записано

$$v_e \cdot h_e \cdot B = U_s \cdot h_s \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d + U_0 \cdot h_0 \cdot b_0 \quad (4.51)$$

Разделим на  $v_e h_e b_0$

$$\frac{B}{b_0} = \frac{U_s}{v_e} \cdot \frac{h_s}{h_e} \cdot \frac{\ell_s}{b_0} \cdot \sin \alpha_d + \frac{U_0}{v_e} \cdot \frac{h_0}{h_e}$$

Экспериментально установлено что  $h_0 = h_e$

$$\text{Тогда } \frac{U_0}{v_e} = \frac{B}{b_0} - \bar{U}_s \cdot \bar{h}_s \cdot \frac{\ell_s \cdot \sin \alpha_d}{b_0} \quad (4.52)$$

$$\text{где } \frac{B}{b_0} = \frac{1}{\frac{b_0}{B}} = \frac{1}{\frac{B - (\ell_g + \ell_s) \cdot \sin \alpha_d}{B}} = \frac{1}{1 - (n_g + n_s)}$$

Подставляя в (4.52) запишем

$$\frac{U_0}{v_e} = \frac{1}{1 - (n_g + n_s)} - \bar{U}_s \cdot \bar{h}_s \cdot \varepsilon_s \quad (4.53)$$

где  $v_e, U_0, U_s$  скорости в бытовом состоянии, в несстесненной части потока в створе стеснения 0-0, за сквозной частью.

$h_s$  – глубина потока

$$\varepsilon_s = \ell_s \cdot \sin \alpha_d / b_0 ;$$

$$n_g = \frac{\ell_g \cdot \sin \alpha_d}{B} - \text{стеснения потока глухой частью дамбы:}$$

$$n_s = \frac{\ell_s \cdot \sin \alpha_d}{B} - \text{стеснения потока сквозной частью дамбы:}$$

Скорость за сквозной частью а также гидравлический коэффициент застройки тетраэдров определяется по рекомендациям САНИИРИ [48, С. 123]

Необходимо установить характер изменения скорости спутного потока  $V$  и глубины потока  $h_{sx}$  в пределах длины области сжатия и скорости в зоне слабовозмущенного ядра  $U_{yx}$

Средние скорости спутного потока определены из уравнени сохранения импульсов записанного для части потока проходящего через сквозную часть

$$\alpha_1 \cdot U_s^2 \cdot h_s \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d - \alpha_x \cdot v^2 \cdot h_x \cdot b = \frac{g \cdot b \cdot h_x^2}{2} - \frac{g \cdot h_s^2 \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d}{2} \quad (4.54)$$

Откуда после некоторых преобразований получено выражения для определения средних скоростей по длине спутного потока области сжатия

$$v^2 = \frac{g \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d \cdot \alpha_1^2 - b \cdot h_x^2}{2 \cdot \alpha \cdot h_x \cdot b} \quad (4.55)$$

$$b = \ell_s \cdot \sin \alpha_d + 0,08x.$$

где  $a_1 = h_s \cdot \sqrt{2 \cdot \alpha \cdot Fr_s + 1}$  - размерность  $m^2$

$Fr_s = \frac{U_s^2}{g \cdot h_s}$  число Фруда за сквозной частью в створе стеснения.

Корректив количества движения по опытам  $\alpha_1 = \alpha_x = \alpha = 1,2 - 1,25$

Изменение глубины потока за сквозной частью определены из дифференциального уравнения движения

$$-\frac{dh}{dx} = \frac{d}{dx} \left( \frac{v^2}{2g} \right) + i_f \quad (4.56)$$

Принимая на коротком участке  $i_f = 0$  с учетом выражения для средней скорости получено выражения по которой определяется изменение глубины воды за сквозной частью в области сжатия.

$$(2 \cdot \alpha - 0,5) \cdot \frac{h_s^2}{a_1^2} \cdot \left[ \left( \frac{h_x}{h_s} \right)^2 - 1 \right] - \ln \frac{h_x}{h_s} = \frac{cx}{\ell_s \cdot \sin \alpha_d} \quad (4.57)$$

По этой зависимости определяется изменение глубины воды за сквозной частью в области сжатия. По опытным данным  $c=0,08$ .

Закономерности изменения скоростей в слабовозмущенном ядре в области планового сжатия находим из интегрального соотношения характеризующего закон сохранения импульса в потоке [15, С.-57] записанного для створов 0-0 и X-X

$$U_0^2 \cdot b_0 \cdot h_0 + U_s^2 \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d \cdot h_s = U_{yx}^2 \cdot b_0 \cdot h_{yx} + V^2 \cdot h_x \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d + \frac{g \cdot b_0}{2} (h_0^2 + h_{yx}^2) - \frac{g \cdot \ell_s \sin \alpha_d}{2} (h_x^2 + h_s^2) \quad (4.58)$$

Разделим на  $U_0^2 \cdot B \cdot h_0$  и после некоторых преобразований

$$\frac{U_{yx}}{U_0} = \sqrt{\frac{(1-n_d) + \overline{U_s^2} \cdot n_s \cdot \overline{h_s} - \overline{V^2} \cdot h_x \cdot n_s + \frac{(1-n)}{2Fr_0} (1 - \overline{h_{yx}^2}) - \frac{n}{2Fr_0} (h_x^2 - h_s^2)}{\overline{h_{yx}}(1-n_d)}} \quad (4.59)$$

где  $n = \frac{\ell_d \cdot \sin \alpha_d}{B}$ ;  $n_s = \frac{\ell_s \cdot \sin \alpha_d}{B}$ ;  $\overline{U_s} = \frac{U_s}{U_0}$ ;  $\overline{V} = \frac{V}{U_0}$ ;  $Fr_0 = \frac{U_0^2}{g \cdot h_0}$ ;  $\overline{h_s} = \frac{h_s}{h_0}$ ;  $\overline{h_x} = \frac{h_x}{h_0}$ ;

$$\overline{h_{yx}} = \frac{h_{yx}}{h_0};$$

Как видно из уравнения (4.59), главное отличие от ранее полученных решений [15, С.-57] заключается в учёте различных характер изменения уравнений воды в продольном и поперечном направлениях.

В зоне слабовозмущенного ядра в продольном направлении глубины изменяются

$$h_{yx} = h_e + Z_p - JX \quad (4.60)$$

где:  $Z_p = 0,5 \cdot Z$  подпор создаваемый дамбой а в продольном направлении за сквозными частями характер изменения определяется по вышеполученной зависимости (4.57). В поперечном направлении происходит от  $h_{yx}$  до  $h_x$ . В створе вертикального сжатия VS происходит выравнивание глубин здесь  $h_{yx} = h_x \approx h_{VS}$ . Длина верховой водоворотной зоны  $\ell_e$  и области сжатия  $\ell_{VS}$  определяются по рекомендациям приведенных в главе 3.

Полученные зависимости позволяют установить характер изменения средних скоростей за сквозной частью  $V$  глубины потока  $h_x$ , а также скоростей в зоне слабовозмущенного ядра  $U_{yx}$  для области вертикального сжатия и необходимо определить воспользуемся ими для нахождения указанных скоростей.

Составим для створов 0-0 и X-X уравнение сохранения расхода для всего потока в области вертикального сжатия

$$U_0 \cdot b_0 \cdot h_0 + U_s \cdot h_s \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d = U_{yx} \cdot b_{yx} \cdot h_{yx} + 0,5(h_{yx} \cdot h_s) \int_{Y_5}^{Y_6} U dy +$$

$$+ U_{y2x} \cdot b_{y2x} \cdot h_{y2x} + h_x \int_{Y_2}^{Y_1} U dy \quad (4.61)$$

Принимая распределение скоростей в обеих зонах интенсивного турбулентного перемешивания по Шлихтингу-Абрамовичу (2.15) и выполняя интегрирование после некоторых преобразований получим

$$m_{y2x} = \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} = \frac{\overline{U_0}(1-n) + \overline{U_s} \cdot \overline{h_s} \cdot n_s - \overline{b_{yx}} \cdot \overline{h_{yx}} - 0,275 \cdot \overline{b_1} \cdot (\overline{h_{yx}} - \overline{h_s})}{0,225 \cdot \overline{b_1} \cdot (\overline{h_{yx}} + \overline{h_s}) + \overline{h_{y2x}}(\overline{b_{y2x}} + 0,55 \cdot \overline{b_2})} \quad (4.62)$$

где  $\overline{U_0} = U_0/U_{yx}$ ;  $\overline{U_s} = U_s/U_{yx}$ ;  $\overline{h_s} = h_s/h_0$ ;  $\overline{h_{yx}} = h_{yx}/h_0$ ;  $\overline{h_{y2x}} = h_{y2x}/h_0$ ;

$\overline{b_{yx}} = b_{yx}/b_0$ ;  $\overline{b_1} = b_1/b_0$ ;  $\overline{b_{y2x}} = b_{y2x}/b_0$ ;  $\overline{b_2} = b_2/b_0$ ;

$n = \ell_d \cdot \sin \alpha_d / B$ ;  $n_s = \ell_s \cdot \sin \alpha_d / B$ ;  $h_0 = h_e$

Для сокращения записи при дальнейших преобразованиях условно обозначим

$$m_{y2x} = \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} = \frac{C_0 - M_1}{F} \quad (4.63)$$

где  $C_0 = \bar{U}_0 \cdot (1 - n) + \bar{U}_s \cdot \bar{h}_s \cdot n_s$

$$M_1 = \bar{b}_{yx} \cdot \bar{h}_{yx} + 0,275 \cdot \bar{b}_1 \cdot (\bar{h}_{yx} + \bar{h}_s)$$

$$F = 0,225 \cdot \bar{b}_1 \cdot (\bar{h}_{yx} + \bar{h}_s) + \bar{h}_{y2x} \cdot (\bar{b}_{y2x} + 0,55 \cdot \bar{b}_2)$$

Составим интегральное соотношение характеризующее закон сохранения импульса в потоке для сечений 0-0 и X-X в области сжатия для всего потока

$$\begin{aligned} U_0^2 \cdot b_0 \cdot h_0 + U_s^2 \cdot h_s \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d = U_{yx}^2 \cdot b_{yx} \cdot h_{yx} + 0,5(h_{yx} + h_s) \cdot \int_{Y_5}^{Y_6} U^2 dy + U_{y2x}^2 \cdot b_{y2x} \cdot h_{y2x} + \\ + h_x \int_{Y_2}^{Y_1} U^2 dy + \frac{gh_0^2}{2} \cdot b_0 + \frac{gh_s^2}{2} \cdot \ell_d \cdot \sin \alpha_d + \frac{gh_{yx}^2}{2} \cdot (b_{yx} + b_1) - \frac{gh_{y2x}^2}{2} \cdot (B - b_{yx} - b_1) \end{aligned} \quad (4.64)$$

Выполняя интегрирование с учётом распределения скоростей в зонах интенсивного турбулентного перемешивания получим:

$$\begin{aligned} U_0^2 \cdot b_0 \cdot h_0 + U_s^2 \cdot h_s \cdot \ell_s \cdot \sin \alpha_d = U_{yx}^2 \cdot b_{yx} \cdot h_{yx} + 0,5 \cdot (h_{yx} + h_s) \cdot U_{yx}^2 \cdot b_1 \cdot (0,416 + 0,268m_{y2x} + 0,316m_{y2x}^2) + \\ + U_{y2x}^2 \cdot b_{y2x} \cdot h_{y2x} + h_{y2x} \cdot 0,416 \cdot U_{y2x}^2 \cdot b_2 + \frac{gh_0^2}{2} \cdot b_0 + \frac{gh_s^2}{2} \cdot \ell_d \cdot \sin \alpha_d - \\ - \frac{gh_{yx}^2}{2} \cdot (b_{yx} + b_1) - \frac{gh_{y2x}^2}{2} \cdot (B - b_{yx} - b_1) \end{aligned} \quad (4.65)$$

Разделим на  $U_{yx}^2 B \cdot h_0$  и после преобразований имеем

$$\begin{aligned} \left( \frac{U_0}{U_{yx}} \right)^2 \cdot (1 - n) + \left( \frac{U_s}{U_{yx}} \right)^2 \cdot n_s \cdot \bar{h}_s = \bar{b}_{yx} \cdot \bar{h}_{yx} + 0,5(\bar{h}_{yx} + \bar{h}_s) \cdot \left( 0,416 + 0,268 \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} + 0,316 \frac{U_{y2x}^2}{U_{yx}^2} \right) + \\ + \left( \frac{U_{yx}}{U_{yx}} \right)^2 \cdot \bar{b}_{y2x} \cdot \bar{h}_{y2x} + 0,416 \left( \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} \right)^2 \cdot \bar{b}_2 \cdot \bar{h}_{y2x} + \frac{(1 - n)}{2Fr_{yx} \cdot h_{yx}} + \\ + \frac{\bar{h}_s^2 \cdot n}{2Fr_{yx} \cdot h_{yx}} - \frac{\bar{h}_{yx}^2}{2Fr_{yx}} (\bar{b}_y + \bar{b}_1) - \frac{\bar{h}_{y2x}^2}{2\bar{h}_{yx} \cdot Fr_{yx}} (1 - \bar{b}_{yx} - \bar{b}_1) \end{aligned} \quad (4.66)$$

где  $Fr_{yx} = \frac{U_{yx}^2}{g \cdot \bar{h}_{yx}}$ ;  $m_{y2x} = \frac{U_{y2x}}{U_{yx}}$ ;

Введем обозначения

$$S_1 = 0,5 \cdot \bar{b}_1 \cdot (\bar{h}_{yx} + \bar{h}_s)$$

$$S_2 = \left( \frac{U_0}{U_{yx}} \right)^2 (1 - n) + \left( \frac{U_s}{U_{yx}} \right)^2 n_s \cdot \bar{h}_s$$

тогда

$$S_2 = \bar{b}_{yx} - \bar{h}_{yx} + 0,416 \cdot S_1 + 0,268 \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} \cdot S_1 + 0,316 \left( \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} \right)^2 \cdot S_1 + \left( \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} \right)^2 \bar{b}_{y2x} - \bar{h}_{y2x} +$$

$$+ 0,416 \left( \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} \right)^2 \bar{b}_2 \cdot \bar{h}_{y2x} + T$$

где

$$T = \frac{1}{2Fr_{yx} \cdot \bar{h}_{yx}} \left[ (1-n) + n \frac{\bar{h}_s^2}{\bar{h}_{yx}^2} - \bar{h}_{yx}^2 (\bar{b}_{yx} + \bar{b}_1) - \bar{h}_{y2x}^2 (1 - \bar{b}_{yx} - \bar{b}_1) \right]$$

$$S_2 = \bar{b}_{yx} \cdot \bar{h}_{yx} + 0,416 \cdot S_1 + 0,268 S_1 \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} + \left( \frac{U_{y2x}}{U_{yx}} \right)^2 \cdot [0,316 S_1 + \bar{b}_{y2x} \cdot \bar{h}_{y2x} + 0,416 \cdot \bar{b}_2 \cdot \bar{h}_{y2x}] + T$$

$$0 = \bar{b}_{yx} \cdot \bar{h}_{yx} + 0,416 \cdot S_1 + T - S_2 + 0,268 \cdot S_1 \cdot m_{y2x} + m_{y2x}^2 [0,316 \cdot S_1 + \bar{b}_{y2x} \cdot \bar{h}_{y2x} + 0,416 \cdot \bar{b}_2 \cdot \bar{h}_{y2x}]$$

Приходим к квадратному уравнению

$$A_1 \cdot m_{y2x}^2 + A_2 \cdot m_{y2x} + A_3 = 0 \quad (4.67)$$

где

$$A_1 = 0,316 S_1 + \bar{b}_{y2x} \cdot \bar{h}_{y2x} + 0,416 \cdot \bar{b}_2 \cdot \bar{h}_{y2x}$$

$$A_2 = 0,268 \cdot S_1$$

$$A_3 = \bar{b}_{yx} \cdot \bar{h}_{yx} + 0,416 \cdot S_1 + T - S_2$$

Корни уравнения положительны, один больше единицы, а другой меньше. Корень уравнения больше единицы, отбрасывается поскольку противоречит физике явление это означало бы  $U_{y2x} > U_{yx}$ . Поэтому принимается корень  $m_{y2x} < 1$

Параметры потока в области растекания рассчитывается по рекомендациям приведенных выше в параграфе 4.3.

Комбинированные дамбы сочетают основные преимущество и устраняет недостатки глухих и сквозных регуляционных сооружений. Глухая часть предохраняет от обхода с корня и удлиняет длину защищаемого участка, а сквозная пропускающая часть расхода уменьшает глубину местного размыва у оголовка сооружения. Существующие конструкции, сквозные части которых свайного типа требует значительных материальных затрат. Предложена комбинированная дамба, глухая часть из местного грунта а сквозная часть из сборных тетраэдров. Для вскрытия физической картины проведены экспериментальные исследования применительно к условиям предгорных рек с уклонами  $i = 0,001 \div 0,004$ , кинетичностью потока  $Fr > 0,15$  коэффициентом застройки сквозной части  $P = 0,2 \div 0,4$  степенью стеснения  $n_d < 0,5$  относительной длиной сквозной части  $\ell_s / \ell_d \geq 0,5$  угла установки  $60^0 - 90^0$ . Установлен формирование двух режимов обтекания «спокойный» когда  $n_d < 0,3$ ,  $Fr < 0,15$  «критический»  $n_d > 0,3$ ,  $Fr > 0,15$ . Здесь задача реализована для первого «спокойного» режима с

использованием интегрального соотношения характеризующего закон сохранения импульса, уравнений сохранения расхода и неравномерного движения. Получены расчетные зависимости для определения скорости в несстесненной части потока в створе стеснения, средние скорости спутного потока, закономерности изменения глубины потока в области сжатия, изменения скоростей в слабозмущенном ядре  $U_{yi}$  и действительных скоростей в спутном потоке с учетом наличие двух зон интенсивного турбулентного перемешивания а также поперечного перепада уровней. Непосредственные расчеты и сравнение их с данными экспериментальных исследований (рис.4.5) показали приемлемость полученных теоретических решений.

#### Выводы по главе IV

1. Физическая картина обтекания водным потоком комбинированной дамбы с водопрпускной частью из тетраэдров качественно и количественно отличаются от существующих свайных и с гидравлическим барьером.

2. Поток имеет струйный характер, обтекания происходит при наличии спутного и обратного потоков.

3. Распределение скоростей в зоне интенсивного турбулентного перемешивания подчиняется теоретической зависимости Шлихтинга-Абрамовича.

4. Теоретическим путем получены зависимости для определения скоростей в слабозмущенном ядре, обратных токах и плановых размеров растекающего потока. С их помощью рассчитывается поле скоростей, сравнивая которых с неразмывающими скоростями можно устанавливать границы размыва. Зная плановые размеры водоворотных зон назначаются расстояния между сооружениями в системе.

5. Изменение продольного уклона дна характерных для предгорных участков рек  $i_d = 0,002$  до  $i_d = 0,004$  приводит к изменению гидравлических и кинематических характеристик потока. При  $n > 0.3$  и числа Фруда  $F_r > 0.15$  наблюдается “критический режим”.

6. При наличии “критического” режима распределение скоростей в зоне слабозмущенного ядра является неравномерным и подчиняется теоретической зависимости Шлихтинга-Абрамовича



7. Коэффициент расширения зоны интенсивного турбулентного перемешивания равны 0.37 против 0.27 в теории турбулентных струй. Распределения скоростей в этой зоне также является универсальными.

8. Физическая картина обтекания водным потоком комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров когда относительная длина сквозной части  $l_s/l_d \geq 0,5$  характеризуется наличием спутного потока, двух зон интенсивного турбулентного перемешивания отличием уровня режима в основном и спутном потоке.

9. Теоретическим путем получены зависимости для определения скоростей в слабовозмущенном ядре, спутном потоке, средние скорости и характер изменения глубин за водопропускной частью. С их помощью рассчитывается поле скоростей, сравнивая которых с неразмывающими скоростями можно устанавливать границы размыва. Зная плановые размеры водоворотных зон назначаются расстояния между сооружениями в системе.

10. Сравнения расчетных и экспериментальных данных показывает их приемлемость, максимальное отклонения не превышает 8-10%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе проведенных исследований по доктора философии (PhD) на тему «Совершенствование конструкции и метода расчета комбинированных дамб на предгорных реках» представлены следующие выводы:

1. Приведены принципы создания комбинированных дамб с водопропускной частью из тетраэдров. Предложены определять коэффициенты застройки при шахматной, рядовой, ёлочной установке по рекомендациям Ишаева Ф.Ш. Для увеличения коэффициента застройки предложен комбинированная укладка шахматная + ёлочная и решетка.

2. Разработана новая конструкция комбинированной дамбы и подана заявка на патент полезная модель (№FAP20220094), корневая часть дамбы выполнена глухой из местного грунта установленной под углом  $60^{\circ}$ - $75^{\circ}$  к направлению потока с креплением верхового откоса, оголовка и  $1/3$  части низового откоса габионами формы прямоугольника, а сквозная часть выполнена из тетраэдров на фундаменте из тех же габионов с тюфяком длиной 1,5-2,0 глубины местного размыва у оголовка, при этом тетраэдры с фундаментом, по верху и по низу а также габионы между собой прикреплены гибкой связью, причем с напорной стороны сквозной части натянута сетка выполненная двухступенчатым живым сечением малым 25% в начале сквозной части, нормальным 25-50% в середине и закрепленных по верху и понизу тетраэдров и на проушинах установленных в теле балок с наружной стороны через одной четверти их длины.

3. Экспериментально вскрыть механизм взаимодействия потока и комбинированной дамбы с водопропускной частью из тетраэдров в зависимости от уклона дна  $i_{\partial} = i_{кр}$ , Относительной длины водопропускной части  $l_c = l_{\partial}$ , степени стеснения  $n$ , Числа Фруда  $Fr$  и наличия в области растекания двух режимов:

а) при  $i = 0,002 \div 0,004$   $n < 0,3$   $Fr_{\partial} < 0,15$  «спокойный»

б) при  $i = 0,002 \div 0,004$   $n > 0,3$   $Fr_{\partial} > 0,15$  «критический»

В результате повысилась точность выбора расчётной схемы процесса.

4. В отличие от равнинных рек на предгорных участках где  $i_{\partial} < i_{кр}$   $i_{\partial} = 0,002 \div 0,004$  местоположения створов планового и вертикального сжатия не совпадают при всех рассмотренных случаях.

5. Экспериментально обнаружено в областях сжатия и растекания однородные зоны: слабовозмущенного ядра, интенсивного турбулентного перемешивания, обратных токов а при  $l_c = l_{\partial} > 0,5$  за сквозной частью

формируется спутный поток и две зоны перемешивания. В зонах интенсивного турбулентного перемешивания распределения скоростей универсальны и подчиняются теоретическим зависимостям Шлихтинча-Абрамовича. Это дало возможность использования основных положений теории турбулентных струй при решении задачи. В результате внесен определённый вклад в теория турбулентных струй.

6. Сравнение результатов тестовой задачи с результатами ранее проведенных исследований [26, С. 78-82; 30, С. 158-161] показывает, что общая тенденция увеличения  $q_0/q_2$  и  $\lambda_f$  от степеней стеснения (общей  $n$  и глухой частью  $n_r$ ) сохраняется. Оценена также пропускная способность реки в створе стеснения. Это дает возможность на стадии проектирования оценить степень воздействия дамбы на поток и выбрать наилучший вариант варьируя вышеуказанными факторами.

7. Установлено, что при  $\ell_c/\ell_d < 0,5$ ,  $n \leq 0,3$ ,  $Fr_0 < 0,15$  формируется «спокойный» режим за дамбой и единая зона интенсивного турбулентного перемешивания. И работа комбинированной дамбы приближается к работе глухих поперечных дамб на предгорных участках и их расчёт могут выполняться по существующей методике (Бакиева М.Р., Худайбергенов Х). В результате появилась возможность определения основных параметров потока.

8. Установлено что при  $\ell_c/\ell_d < 0,5$ ,  $n > 0,3$ ,  $Fr_0 > 0,5$  формируется «критический» режим задача в данном случае от выше рассмотренной, неравномерным распределением скоростей в слабовозмущенном ядре, вертикальное сжатия продолжается до конца водоворотной зоны, значительным сокращением длины водоворотной зоны. Разработаны формулы для вычисления максимальных скоростей в ядре  $U_{max}$ , вдоль противоположного берега  $U_x$  и установления длины водоворотной зоны  $L_0$ . В результате стало возможным рассчитать поле скоростей по которым оценивается границы размыва и расстояние между дамбами в системе.

9. Разработан метод расчёта поле скоростей и плановых размеров потока при  $\ell_c/\ell_d > 0,5$  который позволяет определять скорость потока в створе стеснения  $U_0$  средней глубины и скорости спутного потока за водопропускной частью  $V$ , скорости в слабовозмущенном ядре  $U_{yx}$ . В результате стало возможным прогнозировать возможные переформирования кинематической структуры потока и выполнения компоновку сооружений.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абдирасилов С.А. Исследование гидравлических характеристик руслового потока, стесненного сквозными сооружениями свайного типа. Автореф.дисс.к.т.н., Ташкент, 1976, С. 26.
2. Абдирасилов С.А. Некоторые результаты экспериментального исследования поперечного течения потока в подводящем русле, обусловленного сквозными сооружениями. Труды ТИИИМСХ, Ташкент, 1974, Вып: 66, С. 97-106.
3. Абдирасилов С.А. Расчет максимальной глубины воронки размыва у сквозных берегозащитных шпор. Труды ТИИИМСХ, Ташкент, 1975, Вып.76, С. 73-79.
4. Абдул Карим С. Шихаб. Закономерности растекания потока за поперечной дамбой на реках с широкой поймой. диссерт. на соиск. учёной степени к.т.н., Т., 1991, С. 147.
5. Абрамович Г.Н. Теория турбулентных струй, М., 1960, С. 716.
6. Azinfar H. and Kells J. A., M.ASCE, Backwater Prediction due to the Blockage Caused by a Single, Submerged Spur Dike in an Open Channel// Journal of Hydraulic Engineering/[Volume 134 Issue 8 - August 2008/http://ascelibrary.org/toc/jhend8/134/8](http://ascelibrary.org/toc/jhend8/134/8)
7. Azinfar Hossein & Kells A. James, Flow resistance due to a single spur dike in an open channel//Journal Of Hydraulic Research Published Online: 26 Apr 2010
8. Алтунин В.С. Деформации русел каналов, М., Изд. «Колос», 1972, С. 120.
9. Алтунин С.Т. Регулирование русел, М., Сельхозиздат. 1962, С. 351.
10. Алтунин В.С., Сичинова О.А. Способы защиты русел равнинных рек и каналов от береговых деформаций // Гидротехника и мелиорация. 1985. №5. С. 21-23.
11. Артамонов К.Ф. Регулировочные сооружения при водозаборе на реках в предгорных районах. Фрунзе, А.Н.Киргиз. 1963 С. 341.
12. Базаров Д.Р. Научное обоснование новых численных методов расчета деформаций русел рек, сложенных легкоразмываемыми грунтами дисс.д.т.н. Ташкент 2000  
<http://www.dissercat.com/content/nauchnoe-obosnovanie-novykh-chislennykh-metodov-rascheta-deformatsii-rusel-rek-slozhennykh-l#ixzz2KmymQRn7>
13. [Basser, Hossein; Shamshirband, Shahaboddin; Petković, Dalibor; Karami, Hojat; Akib, Shatirah; Adaptive neuro-fuzzy prediction of the optimum parameters of protective spur dike// Natural Hazards, Volume 73 \(3\) – Mar 22, 2014/https://www.deepdyve.com/search?query=Adaptive+neuro-fuzzy+prediction+of+the+optimum+parameters+of+protective+spur+dike](https://www.deepdyve.com/search?query=Adaptive+neuro-fuzzy+prediction+of+the+optimum+parameters+of+protective+spur+dike)
14. Бакиев М. Р., Тогунова Н.П. Гидравлический расчет сквозных шпор с переменной застройкой. Гидротехническое строительство №12, 1989, С. 14-17.
15. Бакиев М.Р. Совершенствование конструкций, методов расчетного основания и проектирование регуляционных сооружений, автор. докт.диссерт.,М., 1992, С.57

16. Бакиев М.Р. Проектирование регуляционных сооружений при водозаборе на равнинных реках. Ташкент, 1990, С. 46.
17. Бакиев М.Р., Кодиров О. Рекомендации по проектированию комбинированных дамб для условий легкоразмываемых русел рек. Ташкент, 1991г.
18. Бакиев М.Р., Кодиров О., Мурадов Р. Некоторые вопросы гидравлики комбинированных дамб. XV Пленарный межвузовский координационный совет по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Волгоград – Москва, 2000
19. Бакиев М.Р., Тогунова Н.П. Регулирование русел поперечными комбинированными дамбами. Гидротехническое строительство №4, 1991, С.14-17.
20. Бакиев М.Р., Икрамова М.Р. Берегозащитная шпора. Авторское свидетельство. № 1486550 // ГКИО при ГКНТ СССР 15.02.1989
21. Бакиев М.Р., Мурадов Р.А., Исмаилов А.Ш. Комбинированная дамба. Предварительный патент Республики Узбекистан. № IDP 0207, 18.04.2002 г.
22. Bakiev M.R. River bed regulation by cross combined dikes. XXIV IAHNR congress Madrid a study of streams and water sheds of high hydraulic irregularity, 9-13 september, 1991, MADRID/ESPANA.
23. Bakiev Masharif, Khalimbetov Azat, and Matkarimov Otanazar. Flow spreading behind a combined dam with a through part of tetrahedrons on foothill rivers. E3S Web of conferences 264, 03037 (CONMECHIDRO-2021)  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20212640303>
24. Бакиев М.Р., Худайбергганов Х.О. Закономерности растекания потока за поперечной дамбой на предгорных участках рек. Ж.Архитектура, курилиш, дизайн. №4 Тошкент С. 48-54.
25. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Регулирование русел комбинированной дамбой с затопленной сквозной частью постоянной застройки. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2016. № 3 (63). С. 196-201.
26. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Регулирование русел комбинированными дамбами со сквозной частью переменной застройки. Ирригация и мелиорация. 2015. № 1. С. 78-82.
27. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. О растекании потока, симметрично стесненного комбинированными дамбами со ступенчатой застройкой, за сжатым сечением. Ирригация и мелиорация. 2016. № 2 (4). С. 39-41.
28. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Определение подпора и скорости воды на водосливной части комбинированной дамбы новой конструкции. Гидротехника. 2019. № 1 (54). С. 70-73.

29. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Обтекание комбинированной дамбы с затопленной сквозной частью постоянной застройки. Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2015. Т. 15. № 5. С. 154-157.
30. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Оценка Отклонения Динамической Оси Потока, Стесненного Комбинированной Дамбой Со Сквозной Частью Переменной Застройки. Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2015. Т. 15. № 5. С. 158-161.
31. Бакиев М.Р., Шукурова С.Э. Берегозащитная шпора. Патент на полезную модель № FAP 00925,17.06.2014.
32. Bakiev M.R. Shukurova S.E. Floodplain correction by varying build-up combined dikes. European science review. №7-8, 2016, July-August Pp. 230-232.
33. Беликов В.В. Совершенствование методов и технологий прикладного численного моделирования в гидравлике открытых потоков Дисс.д.т.н. Москва 2005 <http://www.dissercat.com/content/sovershenstvovanie-metodov-i-tekhnologii-prikladnogo-chislennogo-modelirovaniya-v-gidravlike#ixzz2Ju8BnbRT>
34. Васильченко Г.В. Воздействие потоков на мелиоративные и водохозяйственные сооружения. стр.21 Минск «Ураджай» 1985 С. 175.
35. Великанов М.А. Динамика русловых потоков. М.,Т.1, 1954. С. 325.; т.П, 1955. С. 325.
36. [Duan, Jennifer G.; He, Li; Fu, Xudong; Wang, Quangqian. Mean flow and turbulence around experimental spur dike// Advances in Water Resources , Volume 32 \(12\) – Dec 1, 2009/](#)  
<https://www.deepdyve.com/search?query=Duan%2C+Jennifer+G.%3B+He%2C+Li%3B>
37. [Jennifer Duan ; Li He ; Guangqian Wang ; Xudong Fu](#), Turbulent Burst around Experimental Spur Dike//World Environmental and Water Resources Congress 2010: Challenges of Change (1702 - 1711)/  
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41114%28371%29179>
38. [Jennifer G. Duan ; AnuAcharya; Mary Yeager](#), Sediment Sorting around Experimental Spur Dike//World Environmental and Water Resources Congress 2008: Ahupua'A (111)/<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40976%28316%29231>
39. Jennifer G. Duan, Ph.D., P.E., Mean Flow and Turbulence around a Laboratory Spur Dike//Journal of Hydraulic Engineering October 2009 Volume 135, Issue 10 (803 - 811) Online publication date: February 23, 2009/  
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0000077>
40. Jennifer G. Duan, Three-Dimensional Mean Flow and Turbulence around a Spur Dike//World Environmental and Water Resource Congress 2006: Examining the Confluence of Environmental and Water Concerns (1 – 9)/  
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40856%28200%2965>

41. Жирнова Е.А. Расчетное обоснование сквозных свайных выправительных сооружений на судоходных реках Дисс.к.т.н. Санкт-Петербург 2000, С. 137.  
<http://www.dissercat.com/content/raschetnoe-obosnovanie-skvoznykh-svainykh-vypravitelnykh-sooruzhenii-na-sudokhodnykh-rekakh#ixzz2JizeCHDF>
42. Жулаев Р.Ж. Поперечная циркуляция, возбуждаемая перераспределением расхода, и принципиальные схемы компоновок водозаборных гидроузлов. Труды координационных сов.по гидротехнике. Издательство «Энергия», 1964г.
43. Жулаев Р.Ж., Абдирасилов А. Поперечное течение потока в открытом русле, обусловленное сквозными сооружениями. Труды ТИИИМСХ, Ташкент, 1974, Вып: 62
44. Ивасюк А.Ю. Разработка и обоснование проницаемого вдольберегового берегозащитного сооружения Дисс.к.т.н. Москва 2009 , С. 124.  
<http://www.dissercat.com/content/razrabotka-i-obosnovanie-pronitsaemogo-vdolberegovogo-beregozashchitnogo-sooruzheniya#ixzz2Jiyob6Qx>
45. [Икрамова М.Р. Влияние плановых очертаний поперечных дамб на гидравлику стесненного потока. Автореф.](#) дисс. к.т.н., Ташкент 1991, С. 26.
46. Ирмухаммедов Х.А., Тузов В.Б., Раджабов К.Ю. Регулирование русла реки Амударьи ниже Туямуюнского гидроузла траверсными дамбами, Сборник трудов САНИИРИ, Ташкент, 1984, С. 28-32.
47. Истомина М.Н. Комплексная оценка крупных наводнений в мире и их негативных последствий диск.г.н. Москва 2005, С. 195.  
<http://www.dissercat.com/content/kompleksnaya-otsenka-krupnykh-navodnenii-v-mire-i-ikh-negativnykh-posledstvi#ixzz2KEdJaIBU>
48. Ишаев Ф.Ш. Методические указания по проектированию рациональных конструкций защитно-регулирующих сооружений на реках предгорной зоны Средней Азии. Ташкент, 1974, С. 123.
49. [Karami H.](#), Ph.D. ; [Ardeshir A.](#) ; [Saneie M.](#); [Behzadian K.](#), Reduction of Local Scouring with Protective Spur Dike//World Environmental and Water Resources Congress 2008  
<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/40976%28316%29255#sthash.6oi6AYsL.dpuf>
50. Karami Hojat, Ardeshir Abdollah, Behzadian Kourosch & Ghodsian Masoud, Protective spur dike for scour mitigation of existing spur dikes//Journal Of Hydraulic Research Published Online: 04 Oct 2011, Pages 809-813
51. [Karami, Hojat](#); [Basser, Hossein](#); [Ardeshir, Abdollah](#); [Hosseini, Seyyed Hadi](#). [Verification of numerical study of scour around spur dikes using experimental data](#)// [Water and Environment Journal](#) , Volume 28 (1) – Mar 1, 2014/  
<https://www.deepdyve.com/search?query=Verification+of+numerical+study+of+scour+around+spur+dikes+using+experimental+data>

52. Каюмов О.А. Исследование кинематической структуры потока и местного размыва у массивных поперечных шпор, Автор.дисс.к.т.н., Ташкент, 1969, 30 с.
53. Kedar Sharma; and Pranab K. Mohapatra, Separation Zone in Flow past a Spur Dyke on Rigid Bed Meandering Channel// Journal of Hydraulic Engineering/[Volume 138 Issue 10 - October 2012](#)
54. [Koken, Mete; Constantinescu, George, An investigation of the flow and scour mechanisms around isolated spur dikes in a shallow open channel: 2. Conditions corresponding to the final stages of the erosion and deposition process// Water Resources Research](#) , Volume 44 (8) – Aug 1, 2008/<https://www.deepdyve.com/>
55. [Koken, Mete; Constantinescu, George, Flow and turbulence structure around a spur dike in a channel with a large scour hole// Water Resources Research](#) , Volume 47 (12) – Dec 1, 2011/<https://www.deepdyve.com/>
56. Кириенко И.И., Щодро А.Е., Шуминский В.Д., Бухин М.Н. Обтекание потоком сквозной полузапруды. Гидравлика и гидротехника. Респ. Межвед. Науч.-техн.сб. Киев: Техника 1988 Вып.:47 С. 30-34.
57. Кодиров О. Совершенствование конструкций и разработка метода гидравлического расчета комбинированных дамб, дисс.к.т.н., Ташкент, 1991, С.26.
58. Ламердонов З.Г. Охрана земель гибкими противэрозионными берегозащитными сооружениями, адаптированными к морфологии рек Дисс.д.т.н. Нальчик 2006, С. 408. <http://www.dissercat.com/content/okhrana-zemel-gibkimi-protivoerozionnymi-beregozashchitnymi-sooruzheniyami-adaptirovannymi-k#ixzz2JZjJb5WT>
59. Ламердонов З.Г. Гибкие откосные крепления // Гидротехническое строительство. 2003. - №1. - С. 39-43.
60. Ламердонов З.Г. Гибкие ячеистые крепления откосов // Мелиорация и водное хозяйство. 2002. - №4. - С.19-21.
61. Ламердонов З.Г., Хаширова Т.Ю., Дышеков А.Х. Методические основы проектирования берегозащитных сооружений с учетом морфологических условий рек// Мелиорация и водное хозяйство. 2004. - №1. - С.26-28.
62. Lodhi A.S., Jain R.K. & Sharma P.K., Influence of cohesion on scour around submerged dike founded in clay–sand–gravel mixtures//ISH Journal Of Hydraulic Engineering Published Online: 27 Aug 2015
63. Львов Е.А. Гидравлика частично затопленных по длине поперечных дамб дисс. к.т.н., Ташкент, 1998, С. 30.
64. Малышев Б.Н. Обоснование параметров гибких быстровозводимых дамб из высокопрочных композитных материалов дисс. к.т.н. Новочеркасск 2003 <http://www.dissercat.com/content/obosnovanie-parametrov-gibkikh-bystrovozvodimyykh-damb-iz-vysokoprochnyykh-kompozitnykh-materi#ixzz2Le29aA11>



65. Mayerle R., Wang S. S. Y. & Toro F. M., Verification of a three-dimensional numerical model simulation of the flow in the vicinity of spur dikes//Journal Of Hydraulic Research Published Online: 13 Jan 2010
66. Mete Koken & Mustafa Gogus, Effect of spur dike length on the horseshoe vortex system and the bed shear stress distribution//Journal Of Hydraulic Research Published Online: 21 Oct 2014, Pages 196-206
67. Михалев М.А. Гидравлический расчет потоков с водоворотной областью, Л., Изд.: «Энергия», 1971, С. 184.
68. Михалев М.А. Физическое моделирование гидравлических процессов С-П, 2010, С. 442.
69. Mohammad Vaghefi; Masoud Ghodsian; and Seyed Ali Akbar Salehi Neyshabouri, Experimental Study on Scour around a T-Shaped Spur Dike in a Channel Bend// Journal of Hydraulic Engineering/  
[Volume 138 Issue 5 - May 2012 / http://ascelibrary.org/toc/jhend8/138/5](http://ascelibrary.org/toc/jhend8/138/5)
70. Мурадов Р.А. Совершенствование конструкций и методов расчетного обоснования частично затопленных комбинированных дамб ,Автореф.дисс., к.т.н., Ташкент, 1993, С. 25.
71. Мухаммедов А.М., Абдураупов Р.Р. Некоторые результаты лабораторных исследований по регулированию потока и выправлению русла р. Амударьи системой сквозных шор в районе Тахиаташкского гидроузла, Труды САНИИРИ, вып. 120, 1970, с. 51-79
72. Образовский А.С. Гидравлика затопленных водоприемных оголовков. Гос.изд.по строительству, архитектуре и строительным материалам М.,1963,С.101
73. Овчинников М.М. «О гидравлическом расчете потока, стесненного одиночными и парными полузапрудами на порогах сплавных рек с уклонами дна менее критических». Известия ВУЗов, Лесной журнал, №3, 1966, С. 21-29.
74. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан. «Об утверждении Программы по стабилизированному и безопасному пропуску вод по водотокам Республики Узбекистан на 2014-2015 годы и на перспективу до 2020 года» №13, от 21.01.2014 г.
75. Рахматов Н.Гидравлика стесненного потока при частичном освоении междамбового пространства. Автореферат дисс.к.т.н., Алма-Ата,1990, С. 24.
76. Рахматов Н.Р., Бакиев М.Р. Растекания потока за сжатым сечением при частичном освоении междамбового пространства. Журнал «Проблемы механики»№2, Ташкент,1992, С. 21-25.
77. Roger A. Kuhnle; YafeiJia; and Carlos V. Alonso, Measured and Simulated Flow near a Submerged Spur Dike// Journal of Hydraulic Engineering/  
[Volume 134 Issue 7-July2008/](http://ascelibrary.org/toc/jhend8/134/5)

<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9429%282008%29134%3A7%28916%29#sthash.Hpv4vuhe.dpuf>

78. [Roger A. Kuhnle](#); [Carlos V. Alonso](#); and [F. Douglas Shields](#), Geometry of Scour Holes Associated with 90° Spur Dikes//Journal of Hydraulic Engineering/[Volume 125 Issue 9 - September 1999](#) / <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9429%281999%29125%3A9%28972%29#sthash.6hg8eEG0.dpuf>

79. [Roger A. Kuhnle](#); [Carlos V. Alonso](#); and [F. Douglas Shields, Jr.](#), [Local Scour Associated with Angled Spur Dikes](#)//Journal of Hydraulic Engineering Volume 128, Issue 12 (1087-1093) Online publication date: November 15, 2002/

<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9429%282002%29128%3A12%281087%29>

80. Саад Сиддик Слиман. Совершенствование методов расчетного обоснования и конструкций сквозных шпор со ступенчатой застройкой по длине. Автореф.дисс.к.т.н. Москва 1990, С. 25.

81. Sanjay A. Burele, Ishwer D. Gupta, Mahanand Singh, Nayan Sharma & Zulfequar Ahmad, Experimental study on performance of spurs//ISH Journal Of Hydraulic Engineering Published Online: 28 Sep 2012

82. Jafari R, Sui J. Velocity field and turbulence structure around spur dikes with different angles of orientation under ice covered flow conditions. *Water (Switzerland)* (2021) 13(13). *Water (Switzerland)* (2021) 13(13) DOI: 10.3390/w13131844

83. Смирнова Т.Г., Правдивец Ю.П., Смирнов Г.Н. Берегозащитные сооружения. М., 20002, С. 302.

84. Chu, J.; Yan, S.W.; Li, W. Innovative methods for dike construction // Geotextiles and Geomembranes, Volume 30 – Feb 1, 2012/

<https://www.deepdyve.com/search?query=Innovative+methods+for+dike+construction>

85. Тлявлин Р.М. Проницаемые волногасящие гидротехнические сооружения в жестком каркасе Дисс. к.т.н. Сочи 2006

<http://www.dissercat.com/content/pronitsaemye-volnogasyashchie-gidrotekhnicheskie-sooruzheniya-v-zhestkom-karkase#ixzz2JizoPhL>

86. Уркинбаев Р. Некоторые вопросы гидравлики сквозных шпор. Труды САНИИРИ им. В.Д. Журина, вып.117 «Русловые процессы», Ташкент, 1968

87. Уркинбаев Р.К. Некоторые вопросы гидравлики сквозных шпор в условиях р. Амударья, Автор.дисс.к.т.н., Ташкент, 1969, 24 с.

88. Хайитов Х.Ж. Прогноз уровня режима потока, деформированного системой пойменных односторонних дамб // Вестник ТашГТУ. – Ташкент, 2009. – № 1-2, –С.70-74.
89. Хайитов.Х.Ж. Совершенствование методов расчетного обоснования поперечных дамб на реках с односторонней поймой. Автореф. дисс. доктор. филос. PhD. Ташкент, 2018, 48 с.
90. Yujian Li and Mustafa Altinakar, Effects of a Permeable Hydraulic Flashboard Spur Dike on Scour and Deposition//[World Environmental and Water Resources Congress 2016: Hydraulics and Waterways and Hydro-Climate/Climate Change](#) (399 - 409)/<http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/9780784479872.041>
91. Хмелев В.А. Сооружения активного типа для защиты берегов рек от разрушения дисс.к.т.н. Новосибирск 2005  
[http://www.dissercat.com/content/sooruzheniya-aktivnogo-tipa-dlya-zashchity-beregov-  
rek-ot-razrusheniya#ixzz2Jiyt3KWZ](http://www.dissercat.com/content/sooruzheniya-aktivnogo-tipa-dlya-zashchity-beregov-rek-ot-razrusheniya#ixzz2Jiyt3KWZ)
92. Шукурова С.Э., Бакиев М.Р. Проектирование односторонних комбинированных дамб. Монография, Ташкент, 2019, 122с.

ХАЛИМБЕТОВ АЗАТ БАЙРАМБАЕВИЧ  
БАКИЕВ МАШАРИФ РУЗМЕТОВИЧ  
ХУДАЙБЕРГАНОВ ХАЙРУЛЛО АЛЛАБЕГРАНОВИЧ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА  
КОМБИНИРОВАННЫХ ДАМБ НА ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

---

Формат 60x84 1/16. Ризография. Гарнитура «Times New Roman».  
Усл.-печ. л. 7. Тираж 100. Заказ № 39. Цена договорная.

Отпечатано в типографии «Фундаментальная библиотека Академии наук РУз»  
100170, г. Ташкент, ул. Зиёлилар, 13.