

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЧНЫХ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА

*Н.П. Лавров* – докт. техн. наук, проф.

In the article main results of Hydraulic structures researches on Kyrgyzstan Mountain Rivers are given. These researches are carrying out at the Hydraulic Engineering and Water Resources Department of Kyrgyz-Russian Slavic University.

В Кыргызстане годовой поверхностный сток рек составляет более 50 млрд. м<sup>3</sup> воды, а общий гидроэнергетический потенциал превышает 180 млрд. кВт час в год. Выработка электроэнергии всеми гидростанциями республики в 2006 г. составила 13, 48 млрд. кВт час, т.е в настоящее время используется не более 7,5% этого валового потенциала [1]. Почти не используются для производства электроэнергии ресурсы многочисленных каналов и ирригационных водохранилищ. При экономном использовании воды реальным является расширение площадей орошаемых земель до 1,5...1,8 млн.га.

Речные гидротехнические сооружения (ГТС) являются достаточно распространенным и наиболее ответственным типом сооружений как с позиций технологии водопользования, так и с позиций экологии. К числу этих объектов относятся регуляционные сооружения на горных реках, плотины, водозаборные гидроузлы, без которых не обойтись ни в ирригации, ни в гидроэнергетике.

Совершенствованию конструкций речных ГТС посвящены экспериментальные и теоретические исследования сотрудников кафедры гидротехнического строительства и водных ресурсов (ГТСиВР) Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ). Условно эти исследования можно подразделить на шесть научных задач.

**Задача 1.** Мониторинг формирования жидкого и твердого стока горных рек, необходимый для уточнения исходной информации при моделировании и проектировании речных

сооружений. Речные гидротехнические сооружения проектируются без учета значительного внутрисуточного колебания стока рек, которое недостаточно изучено. Слабо изучен и зимний режим горных рек, а также состав и характеристики речных наносов. Группой мониторинга горных рек под руководством доц. Г.П. Фроловой выбраны три репрезентативных объекта для наблюдения за режимом горных рек в различных областях Кыргызстана. Первый объект – р. Джууку, бассейн которой располагается на северном склоне горного хребта Терсей-Алатоо (1610–4500 м над ур.м) в Иссык-Кульской области. Второй объект – р. Сокулук, расположенная в Чуйской области на северном склоне Кыргызского хребта на высоте от 700 до 3500 м. Третий объект – р. Кугарт, расположенная в Жалалабатской области на юго-западном склоне Ферганского хребта на высотных отметках от 600 до 3200 м. Группой исследователей из КРСУ проведено дооборудование гидрометрических постов и створов на базовых реках самописцами уровня воды, гидрометрическими рейками. Совместно с наблюдателями Госкомгидромета Кыргызстана, сотрудниками Сокулукского и Сузакского райводхозов выполняются гидрометрические наблюдения за уровнем, расходом и стоком воды в трех базовых реках. По их результатам с учетом гидрологических данных прошлых лет, представленных ОАО “Кыргысуудолбоор” (гидролог Ю.С. Якиманский) построены графики зависимости расхода от уровня  $Q = f(H)$ , гидрографы  $Q = f(t)$ , графики

хода уровней  $H = f(t)$ . Типичный гидрограф р. Кугарт (рис. 1).

**Задача 2.** Исследования русловых процессов и регулирование речного русла при водозаборных сооружениях из горных рек для малых ГЭС. При пропуске паводковых расходов в горных реках поток формирует себе новое русло, подмывая и разрушая берега, а в некоторых случаях и затопляя поймы, обжитые людьми [2]. Систематизацией информации о русловых процессах на реках горно-предгорной зоны и разработкой новых типов защитно-регулирующих сооружений занимается группа исследователей под руководством доц. В.А. Биленко. Совместно с учеными итальянского университета Тренто, а также кафедры прикладной математики (проф. С.Н. Алексеенко, аспирант Д.В. Боровков) и кафедры НВИЭ КРСУ (ст. преп. М.К.Торопов)

выполняется математическое моделирование русловых процессов на горных реках. На гидротехнической модельной площадке ОАО “Кыргысуудолбоор” построена физическая модель критического участка р. Кугарт в районе с. Сузак, на котором наиболее часто происходит прорыв боковых дамб и наводнения (рис. 2).

Разработаны программа и методика натурных исследований переформирования русел горных рек с применением глобальных систем позиционирования и цифровой фотограмметрии [2]. Собраны исходные данные, необходимые для математического моделирования выбранного участка канализованного русла р. Кугарт, подготовлено оборудование для проведения модельных и натурных исследований русловых процессов на малых реках Кыргызстана.

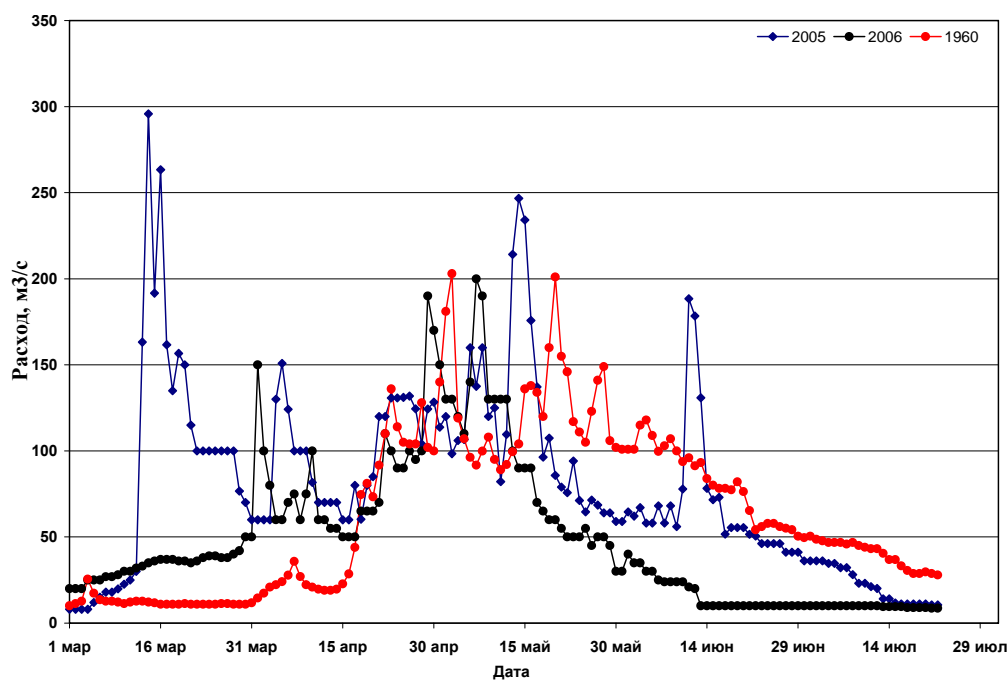


Рис. 1. Совмещенный гидрограф р. Кугарт за 2005, 2006 и 1960 г.



Рис.2. Физическая модель участка р. Кугарт в районе с. Сузак.

**Задача 3.** Гидравлическое моделирование водозаборных сооружений из горных рек для малых ГЭС, необходимое для повышения эффективности, надежности и экологической безопасности этих сооружений. Головные водозаборные сооружения неинженерного типа, применяемые ранее на гидроузлах малых ГЭС, размывались паводком, а деривационные каналы заносились наносами. Особенно сложной является эксплуатация водозаборных узлов в зимнее время, т.е. в условиях отрицательных температур воздуха. Построенные ранее и проектируемые в настоящее время речные водозаборные сооружения в странах Центральной Азии представляют опасность для экологии и биоразнообразия. Их конструкции рассчитаны на полный 100%-ный забор воды из рек в период вегетации и маловодья, без учета путей миграции рыбы через створы водозабора и не имеют рыбозащитных сооружений. Поймы рек ниже сооружений высыхают и превращаются в свалки мусора.

В Кыргызстане существует признанная школа исследователей процессов водозабора из горных рек. Достаточно назвать имена В.А. Васильева, конструктора Чумышского гидроузла, профессоров К.Ф. Артамонова, Я.В. Бочкарева, Э.Э.Маковского, Г.В. Соболина, Б.И. Мельникова, А.Ф. Филончикова, канд. техн. наук С.С. Сатаркулова, И.К. Рудакова,

А.И. Рохмана, создавших целую серию автоматизированных ирригационных водозаборных сооружений для горных рек. Однако эти сооружения сезонного типа не приспособлены для круглогодичной работы, в частности, в условиях низких температур.

Группу исследователей водозаборных сооружений кафедры ГТСиВР возглавляет канд. техн. наук И.К. Рудаков, на протяжении полувека занимающийся проблемами водозабора из горных рек. Изучение процессов водозабора носит системный характер. Наряду с теоретическими и экспериментальными исследованиями пропускной способности водозаборных узлов, включая составление баланса расходов выполняется моделирование подводящего русла (ст. преп. М.К. Торопов), изучение наносозащитных свойств сооружения (канд. техн. наук Г.И. Логинов), при различных гидрологических режимах реки. Проводятся исследования систем защиты затворов ГТС от обмерзания (доц. А.П. Балянов, аспирант О.А. Клепачева). При содействии швейцарской программы NCCR “Север-юг” проведено ознакомление с рыбозащитными сооружениями Швейцарии и Германии. На этой основе запатентовано [3] устройство рыбозащиты при водозаборе, основывающееся на использовании гидравлической энергии речного потока. За последнее десятилетие раз-

работано, исследовано и внедрено в производство несколько новых конструкций водозаборных сооружений для ирригации и гидроэнергетики. Так, в 2000–2001 гг. на модельной русловой установке (МРУ) КРСУ выполнено моделирование бокового водозаборного сооружения на р. Куршаб. Производственное внедрение этой конструкции (рис. 3) в совокупности с отстойником позволило сократить около 2 млн. сом. ежегодных затрат на очистку отводящего канала Огуз-Адыр от речных наносов.

В настоящее время на модельной русловой установке (МРУ) КРСУ выполняются (аспирант Д.А. Борисенко) экспериментальные исследования бесплотинного водозаборного сооружения для микроГЭС на р. Джууку, расположенной в Джеты-Огузском районе Иссык-Кульской области КР. Попытка эксплуатации этой микроГЭС проектной мощностью 66 кВт без инженерного водозабора привела к занесению отстойника и деривационного канала речными наносами (песком, гравием) уже в первый месяц работы микроГЭС.

В 2002–2003 гг. на МРУ КРСУ выполнено моделирование водозаборного сооружения для деривационных ГЭС (патент КР №607, 2003 Н.П. Лавров, Г.И. Логинов, В.А. Биленко). Строительство этого сооружения для малой ГЭС на р. Иссык-Ата [3] ведется в настоящее время ОАО “Беловодская ПМК” (рис. 4).



Рис. 3. Модель и натурный вариант бокового водозаборного сооружения на р. Куршаб (патент КР №586, 2003; Н.П. Лавров, А.И. Рохман, В.А. Биленко и др.).

После проведенных экспериментальных исследований в 2005 г. было внедрено на водозаборном сооружении р. Сокулук (рис. 5) устройство рыбозащиты при водозаборе (Патент КР №919, МКП Е 02 В 8/08, бюл. №12, 2006). Применение гидравлического способа рыбозащиты, который реализует данное устройство [4], позволило исключить попадание молоди и взрослых особей рыб (осман, маринка) в ирригационные каналы Жаантай и Казенный и дальше на поля орошения, где они погибали. При экспериментальных исследованиях используются как стандартное, так и модернизированное оборудование и измерительная аппаратура (инж. А.В. Астионов), например, дозатор наносов, управляемый с помощью компьютера.

**Задача 4.** Лабораторные и натурные исследования водозаборных сооружений из быстротечных каналов горно-предгорной зоны для микроГЭС, обеспечение стабильного забора воды в деривацию, в том числе в зимних условиях. При заборе воды из многочисленных быстротечных каналов горно-предгорной зоны, характеризующихся нестационарным волновым (сверхбурным) характером течения, возникает проблема стабилизации потока воды, который может быть использован на энергетические нужды в микроГЭС установленной мощностью до 100 кВт.





Рис. 4. Модель и строящееся водозаборное сооружение для деривационных ГЭС на р.Исык-Ата (патент КР №607, 2003; Н.П. Лавров, Г.И. Логинов, М.К. Торопов).



Рис. 5. Исследования и внедрение устройства рыбозащиты при водозаборе (патент КР №919, 2006; Н.П. Лавров, Н.В. Коржавин, Г.И. Логинов).

В 2000 г. Н.П. Лавровым и М.К. Жусуповым были изданы рекомендации по проектированию и эксплуатации ГТС для водораспределения сверхбурных потоков [5]. Такие сооружения применяются на ирригационных системах и не приспособлены к круглогодичной эксплуатации. Поэтому потребовались специальные исследования вододелителей для энергетического использования, по результатам которых в 2001 г. на Аламединском подпитывающем канале было построено водозаборное сооружение для резервного водоснабжения ТЭЦ г. Бишкек (рис. 6).

В рамках проекта МНТЦ №KR-1130 продолжаются экспериментальные и теоретические исследования водозаборных сооружений

из каналов-быстротоков для микроГЭС под руководством докт. техн. наук О.В. Атамановой. С этой целью в лаборатории ГТС в апреле 2007 г. смонтирован крупный гидравлический лоток, на котором предусмотрена установка различных модификаций моделей вододелителей сверхбурных потоков. Предложена усовершенствованная конструкция вододелителя для каналов со сверхбурным течением (ВКСТ), на которую в “Кыргызпатент” подана заявка на изобретение. Разрабатываются специальные конструкции емкостных волнографов (инж. А.В. Астионов), предназначенные для регистрации параметров неустановившихся потоков как на моделях, так и в натурных условиях.



Рис.6. Водозаборное сооружение из Аламединского подпитывающего канала для резервного водоснабжения ТЭЦ г. Бишкек (А. св. СССР №1654447; Н.П. Лавров и патент КР №47; Н.П. Лавров, А.И. Рохман, У.Д. Кулибаев).

Кроме того, докт. техн. наук О.В. Атамановой выполнены и продолжаются комплексные исследования средств гидравлической автоматизации водоподачи из каналов и рек на основе стабилизаторов расхода воды.

**Задача 5.** Моделирование влияния тектонических разломов основания грунтовых плотин на деформативные свойства грунтов плотины для обеспечения их устойчивости в условиях сейсмических нагрузок. Грунтовые плотины для водохранилищ ГЭС на трещиноватых скальных основаниях, расположенные в сейсмической зоне, испытывают подвижки во время землетрясения. Это типичная ситуация для грунтовых плотин Кыргызстана, некоторые из которых расположены даже в зоне тектонических разломов. Подвижки плотин во время землетрясений могут стать причиной их деформаций и разрушения.

Заведующим лабораторией Института физики и механики горных пород НАН КР доц. Б.А. Чукиным в рамках проекта МНТЦ №KR-1130 выполнен анализ численных методов расчета напряженно-деформированного состояния (НДС), такие как метод конечных разностей, методы конечных и граничных элементов. Выявлены возможности численных методов для расчета НДС грунтовых плотин с учетом нарушения сплошности.

Моделирование тектонических разломов, трещин грунтовых плотин для вычислительных целей основывается на выборе и обосновании “контактного элемента”. Выбран элемент, у которого противоположные берега соединены “пружинами” с двумя степенями свободы. Пружины описывают деформационные свойства заполнителя при сжатии и сдвиге, а метод разрывных смещений – смещения берегов на распределение напряженно-деформированного состояния (НДС) грунта.

Разработана методология составления системы линейных уравнений для решения задач о расчете НДС грунтовых плотин на основании выполнения физических условий и численной реализации для решения неоднородных задач устойчивости грунтов, имеющих нарушение сплошности, методом разрывных смещений.

Производится оценка устойчивости сооружений на основании условия прочности грунтов. В результате анализа экспериментальных данных и основываясь на выводах и предшествующих исследованиях, сделан вывод, что наиболее подходящим условием прочности для оценки устойчивости грунтовых плотин является условие прочности Мора-Кулона.

Смещения  $u$  и напряжения  $\sigma$  в глобальной системе координат  $x$  и  $y$  находят с помощью полученных формул преобразования:

$$\left. \begin{aligned} u_x &= D_x \left[ -(1-2\nu)\sin\beta\bar{F}_2 + 2(1-\nu)\cos\beta\bar{F}_3 + \bar{y}(\sin\beta\bar{F}_4 - \cos\beta\bar{F}_5) \right] + \\ &+ D_y \left[ -(1-2\nu)\cos\beta\bar{F}_2 - 2(1-\nu)\sin\beta\bar{F}_3 - \bar{y}(\cos\beta\bar{F}_4 + \sin\beta\bar{F}_5) \right], \\ u_y &= D_x \left[ (1-2\nu)\cos\beta\bar{F}_2 + 2(1-\nu)\sin\beta\bar{F}_3 - \bar{y}(\cos\beta\bar{F}_4 + \sin\beta\bar{F}_5) \right] + \\ &+ D_y \left[ -(1-2\nu)\sin\beta\bar{F}_2 + 2(1-\nu)\cos\beta\bar{F}_3 - \bar{y}(\sin\beta\bar{F}_4 - \cos\beta\bar{F}_5) \right], \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{xx} &= 2GD_x \left[ 2\cos 2\beta\bar{P}_4 + \sin 2\beta\bar{P}_5 + \bar{y}(\cos 2\beta\bar{P}_6 - \sin 2\beta\bar{P}_7) \right] + \\ &+ 2GD_y \left[ -\bar{P}_5 + \bar{y}(\sin 2\beta\bar{P}_6 + \cos 2\beta\bar{P}_7) \right], \\ \sigma_{yy} &= 2GD_x \left[ 2\sin 2\beta\bar{P}_4 - \sin 2\beta\bar{P}_5 - \bar{y}(\cos 2\beta\bar{P}_6 - \sin 2\beta\bar{P}_7) \right] + \\ &+ 2GD_y \left[ -\bar{P}_5 - \bar{y}(\sin 2\beta\bar{P}_6 + \cos 2\beta\bar{P}_7) \right], \\ \sigma_{xy} &= 2GD_x \left[ \sin 2\beta\bar{P}_4 - \cos 2\beta\bar{P}_5 + \bar{y}(\sin 2\beta\bar{P}_6 + \cos 2\beta\bar{P}_7) \right] + \\ &+ 2GD_y \left[ -\bar{y}(\cos 2\beta\bar{P}_5 - \sin 2\beta\bar{P}_7) \right], \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $F_1 \dots F_5$ ,  $G$ ,  $P_1 \dots P_5$  – силы и нагрузки, действующие на рассматриваемый элемент, и – компоненты разрыва смещений,  $\beta$  – угол поворота системы координат.

Формулы (1) и (2) используются при вычислении общих коэффициентов влияния в методе разрывных смещений.

Выбор непрямого метода обусловлен тем, что он обладает рядом преимуществ перед другими методами граничных элементов. Это выражается, во-первых, в том, что им удобно исследовать влияние нарушений сплошности на НДС. Во-вторых, в данном случае отпадает необходимость аппроксимировать основание, как выделенный массив, – достаточно описать граничными элементами поверхность основания.

На основе непрямого метода разрывных смещений будет составлена программа расчета НДС грунтовых плотин на скальном основании для разнородных материалов, находящихся в контакте с возможностью моделировать активные тектонические нарушения.

**Задача 6.** Теоретические и экспериментальные исследования поверхностных катастрофических водосбросов для обеспечения гарантированного пропуска паводков из водохранилищ малых ГЭС. При эксплуатации по-

верхностных катастрофических водосбросов грунтовых и бетонных плотин возникает проблема согласования пропускной способности гидростанций, а также головной и транзитной части этих сооружений. Важна проблема сохранения устойчивости высокоскоростного потока на водоскате водосбросов, защиты бетонного покрытия от кавитации и крепления нижнего бьефа водосбросов.

При проведении модельных исследований поверхностного катастрофического водосброса Орто-Токойского водохранилища в 2000 г. было выявлено, что предложенная турецкой фирмой “Temelsu/GIBB” конструкция входного оголовка не обеспечивает заданную пропускную способность водосбросного сооружения при трансформации паводка в Орто-Токойском водохранилище [3] (рис. 7). Аспирантом А.С. Костиной под руководством проф. Н.П. Лаврова при участии докт. техн. наук О.В. Атамановой [6] была выполнена серия модельных исследований четырех видов входных оголовков с разной формой водослива. В ходе экспериментов было обнаружено новое гидравлическое явление, когда с увеличением напора воды над водосливами практического профиля их пропускная способность в определенный момент начинает снижаться. Для того чтобы сохранить и увели-



чить пропускную способность входного оголовка водосброса, была предложена новая форма бокового выреза над порогом водослива, получившая патент КР №829.

Кроме того, для обеспечения пропуска по транзитной части водосброса различных расходов воды, вплоть до максимального (катастрофического) расхода, равного  $258,2 \text{ м}^3/\text{с}$ , понадобились мероприятия по сохранению устойчивости бурного потока. В частности, было исследовано и построено устройство предупреждения волнообразования в виде локальных разделительных стенок, установленных по оси водосброса (рис. 7), в зоне зарождения катящихся волн [7]. Была исследована на модели и внедрена на натурном объекте оригинальная конструкция комбинированного крепления нижнего бьефа берегового поверхностного водосброса, позволившая на треть уменьшить объем дорогостоящей булыжной отмостки.

В настоящее время проводится подготовка к гидравлическому моделированию транзитной части глубинного водосброса в лаборатории гидротехнических сооружений Московского государственного университета природообустройства (проф. И.С. Румянцев, зав. лабораторией А.М. Федорков). МГУП является соисполнителем КРСУ в проекте МНТЦ №KR-1130.

Изготавливается на примере Курпсайской плотины модель концевой части поверхностного катастрофического водосброса, устанавли-

ваемая на гидротехнической модельной площадке ОАО “Кыргызводпроект” (доц. Н.И. Иванова, аспирант А.П. Ерофеев).

Следует отметить, что в лабораторных и натурных исследованиях кафедры ГТСиВР непосредственное участие принимают студенты, обучающиеся в КРСУ по специальностям “Гидротехническое строительство”, “Комплексное использование и охрана водных ресурсов” и “Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии”.

Среди основных направлений дальнейших исследований речных гидротехнических сооружений, выполняемых на кафедре ГТСиВР в рамках проекта МНТЦ № KR-1130, государственной темы КР-13, хозяйственной темы ХГ-05-07, заключаемой с каскадом Токтогульских ГЭС, можно отметить следующие:

- мониторинг водноэнергетического режима Токтогульской и Курпсайской ГЭС на р. Нарын;
- исследования безопасности водосбросных сооружений Курпсайской ГЭС, суммарный проектный расход воды которых составляет более  $2700 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- продолжение натурных гидрологических наблюдений за внутрисуточным распределением жидкого и твердого стока репрезентативных горных рек;



Рис. 7. Модель и построенная конструкция Орто-Токойского поверхностного катастрофического водосброса с устройством предупреждения волнообразования (А. свид. СССР №1821516; Н.П. Лавров).



- физическое моделирование русловых процессов на горных реках с целью уточнения математической модели трансформации речного русла;
- дальнейшее совершенствование конструкций плотинных и бесплотинных водозаборных сооружений из горных рек для малой энергетики с учетом рыбозащиты и зимних условий эксплуатации;
- модернизация конструкций водозаборных сооружений для микроГЭС из ирригационных каналов с бурным и сверхбурным течением;
- исследование и разработка программ расчетов устойчивости грунтовых плотин на скальном основании, имеющем тектоническую трещину, в том числе с асфальтобетонными противодиффузионными элементами;
- разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации поверхностных и глубинных катастрофических водосбросов с нестационарным характером течения.

#### Литература

1. Проект КНТЦ “Энергия” и АБР PREG PREGA TA-5972. Программа развития малой гидроэнергетики в Кыргызстане / Ш. Мавлянбеков, А. Джундубаев, А. Алымкулов. – Бишкек, 2003.
2. Лавров Н.П., Биленко В.А. Русловые переформирования при антропогенном воздействии на пойму горной реки // Сб. научн. трудов МГУП “Природообустройство и рациональное природопользование...”. Ч. 1. – М., 2005. – С. 271–277.
3. Лавров Н.П., Рохман А.И., Логинов Г.И., Торопов М.К. Модель водозаборного сооружения деривационной ГЭС на р. Иссык-Ата // Вестн. КРСУ. – 2003. – Т. 3. – №4 – С. 87–93.
4. Лавров Н.П., Логинов Г.И., Коржавин Н.В. Способы рыбозащиты на речных гидроузлах Швейцарии и Германии и возможность их применения в условиях горных рек Кыргызстана // Вестн. КРСУ. – 2005. – Т. 5. – №3. – С. 68–71.
5. Рекомендации по расчету, проектированию и эксплуатации ГТС для управления сверхбурными потоками. Ч. 3. Расчет, проектирование и эксплуатация ГТС для водораспределения сверхбурных потоков // РДМУ МОиВХ КР, Лавров Н.П., Жусупов М.К. – Бишкек, 2000. – 33 с.
6. Атаманова О.В., Костина А.С. Оптимизация параметров входного оголовка Орто-Токойского катастрофического водосброса. // Вестн. КРСУ. – 2005. – Т. 5. – №3. – С. 78–82.
7. Лавров Н.П., Костина А.С. Устройство для гашения катящихся волн на поверхностном катастрофическом водосбросе Орто-Токойского водохранилища // Гидротехническое строительство. – 2002. – №10. – С. 34–38.