

УДК 624.136.5 (575.2)(04)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОПРЯГАЮЩИХ УЧАСТКОВ ВОДОЗАБОРНЫХ ГИДРОУЗЛОВ ГОРНЫХ РЕК

Н.П. Лавров, Г.И. Логинов, Ю.Ф. Пархоменко

Приведены результаты исследований варианта сопряжения зарегулированного участка русла водозаборного сооружения и бытового русла горной реки. Описаны наблюдения процесса заиления зарегулированного русла со стороны отводящего бытового русла реки.

Ключевые слова: водозаборный гидроузел; подводящее русло; отводящее русло; начальный участок зарегулированного русла; процесс заиления.

Вопросу регулирования гидравлических структур двухфазного потока жидкости (вода – наносы) с помощью устройства регуляционных сооружений в виде струенаправляющих дамб, устраиваемых при низконапорных водозаборных гидроузлах, посвящены исследования многих ученых: С.Т. Алтунина, К.Ф. Артамонова, Н.Ф. Данелия, И.И. Леви, Я.В., Г.В. Соболина, А.В. Филончикова, А.Н. Крошкина, В.Ф. Талмазы и многих других [1]. Эта проблема особенно актуальна для обеспечения надежного водозабора в малые гидроэнергетические и ирригационные системы из горных рек Кыргызстана.

Методика расчета для проектирования средств стабилизации руслового процесса при низконапорном плотинном водозаборе из рек горно-предгорной зоны, предложенная А.Н. Крошкиным и представленная А.В. Филончиковым, наиболее часто применяется проектными организациями республики [2].

Как показал анализ результатов модельных исследований, и опыт эксплуатации некоторых водозаборных гидроузлов, указанная методика имеет некоторые существенные недостатки, такие как возникновение в бьефах сооружений русловых и гидравлических явлений отрицательного характера. Они заключаются в отклонении направления двухфазного потока от задаваемого, что приводит к непрогнозируемым деформациям дна, разрушениям креплений верховых откосов струенаправляющих дамб с изменением плановых конфигураций зарегулированных русел [3, с. 87–93]. На наш взгляд, это связано со следующими причинами:

➤ предлагаемые гидроморфометрические зависимости для расчета параметров зарегу-

лированных русел криволинейной формы были выведены с учетом его размещения в конце прямолинейного участка водотока, что не отражено в рекомендуемых вариантах плановой конфигурации зарегулированных русел [1, 4];

➤ не определены конструкции и характеристики сооружений и устройств для размещения в концевой части зарегулированного отводящего русла гидроузла, обеспечивающих растекание потока по всей ширине поймы и устойчивый транспорт наносов на участке бытового отводящего русла.

Был проведен ряд модельных исследований для определения необходимых компоновочных схем сопрягающих участков зарегулированного русла низконапорного водозаборного гидроузла и бытовых подводящего и отводящего русел реки.

Выполненные в рамках проекта МНТЦ КР-1130 теоретические и экспериментальные исследования [2] показали, что:

1. При сопряжении подводящего бытового русла реки большой ширины с зарегулированным руслом устойчивой ширины на его начальном участке происходит отрыв транзитных струй потока от боковых стенок русла с выраженным перераспределением удельных расходов по ширине, которое только на некотором расстоянии переходит в равномерное движение.

2. На концевом участке зарегулированного русла (канализированное русло р. Кугарт) возникает отложение наносов с развитием вверх по течению, это сопряжено с разностью транспортирующих способностей потока на участках

русла с расчетной шириной и с шириной больше устойчивой.

Таким образом, для создания перед криволинейным зарегулированным руслом водозаборного гидроузла стационарного равномерного распределения удельных расходов двухфазного потока необходимо устройство прямолинейного участка. А для разработки сооружений и устройств, способных эффективно предупредить отложение наносов на участке отводящего зарегулированного русла, необходимо определить условия возникновения и изучения процессов заиления.

Длина модели зарегулированного русла составляла $L=2,78$ м, ширина по верху $B=0,65$ м, заложение откосов $m=1$, высота крепления внутренней поверхности струенаправляющих дамб $h=0,25$ м. Ширина моделируемого бытового русла составляла $B_0=1,4$ м. Величины уклонов дна зарегулированного бытового русла устанавливались винтовым подъемником и изменялись в пределах от 0,005 до 0,04. Уклон задавался при пропуске руслоформирующего расхода, значение которого определялось подбором в зависимости от известной устойчивой ширины русла, уклона дна, и средневзвешенных диаметров отложений отмытки русла и русловых отложений с использованием зависимости [4]:

$$\frac{B}{d_{om}} = 2,2 \left[\frac{Q_{psc}}{d_{om}^2 \sqrt{gd_{om}i}} \right]^{0,425}, \quad (1)$$

где i – уклон дна русла; d_{om} – средневзвешенный диаметр камня, слагающего отмытку русла, определялся в зависимости от устанавливаемого уклона дна русла и величины руслоформирующего расхода; Q_{psc} – значение руслоформирующих расходов.

Создаваемые на модели зарегулированного русла гидроморфометрические характеристики, свойственные участкам горных рек, определялись по методике, предложенной А.Н. Крошкиным и В.Ф. Талмазой [4] (таблица 1).

Моделирование проводилось по критерию гравитационного подобия с выполнением условия $Fr=idem$. Задаваемые гидрологические характеристики моделируемого двухфазного потока в ходе исследований рассчитывались с учетом гидроморфологии р. Сокулук Чуйской долины Кыргызстана, которые по данным исследований [2] могут быть использованы в качестве репрезентативных для рек северного склона Кыргызского хребта. Величина руслоформирующего расхода р. Сокулук по данным исследований [2] может быть принята равной $Q_{psc}=Q_{1\%}=55$ м³/с.

С учетом этого масштаб моделирования M_L определялся по рекомендациям [2].

Проводилось изучение параметров зоны отрыва струй от берегов русла при симметричном расположении струенаправляющих дамб на участке сопряжения бытового и зарегулированного русел (рисунок 1).

В ходе исследований размещение концевой сечения, ограничивающего зону отрыва, определялось по данным измерений скоростей водного потока, значение которых в зоне равномерного движения воды выравнивалось по ширине и не изменялось по длине. Измерения скоростей водного потока производились микровертушкой с величиной предельной абсолютной ошибки $\pm 0,1$ м/с, при этом погрешность составляла 4 % от верхнего предела измерений. Линейные размеры измерялись стальной линейкой длиной 1 м с ценой делений 1 мм, при этом погрешность от верхнего предела измерений составила 0,17 %.

Результаты исследований плановых размеров зоны отрыва струй потока приведены в таблице 2. Поскольку моделирование проводилось в различных масштабах, при обработке результатов был произведен пересчет опытных данных на условия природы.

Зависимость длины прямолинейного участка L зарегулированного русла от воссоздаваемых гидрометрических характеристик определя-

лась из отношения зависимости вида $\frac{L_n}{B_n} = f(i)$.

С использованием известных методов статистической обработки [2] была получена эмпирическая зависимость для расчета относительной длины прямолинейного участка от уклона дна русла, которая с достаточной точностью аппроксимирована в виде линейной зависимости при тесноте связи $r=0,98$:

$$\frac{L_n}{B_n} = 34,976 \times i + 0,976. \quad (2)$$

В ходе поисковых исследований описанной модели участка зарегулированного русла (см. рисунок 1) изучалось его заиление со стороны отводящего бытового русла. Исследования проводились при уклоне дна $i=0,005$, который формировался при пропуске руслоформирующего расхода воды с расчетной мутностью потока.

При пропуске руслоформирующего расхода $Q_{psc}=Q_{1\%}$ в зоне сопряжения концевой участка зарегулированного русла с бытовым руслом двухфазный поток не растекался по всей ширине, продолжая движение компактно по всей

Таблица 1 – Гидроморфометрические характеристики моделируемого двухфазного водного потока

Уклон дна русла, i	Ширина русла B , м	Русло форм. расход $Q_{\text{рус}}$, л/с	Ср. взв. диам. нанос. d , мм	Весов. со- держ. нанос., μ , г/л	Длина за- регул. русла, L , м	Масштаб модел., M_L
0,005	0,65	7,1	1,2	0,19	2,76	35,9
0,010	0,65	9,8	2,5	0,32	2,76	31,6
0,015	0,65	12,1	3,9	0,56	2,76	29,0
0,020	0,65	13,8	5,4	0,75	2,76	27,5
0,025	0,65	15,5	6,9	1,11	2,76	26,3
0,030	0,65	17,0	8,5	1,31	2,76	25,3
0,035	0,65	18,3	9,8	1,80	2,76	24,6
0,040	0,65	19,6	12,1	2,27	2,76	23,9



Рисунок 2 – Размещение начального участка зарегулированного русла относительно сопрягающего участка с симметричным размещением струенаправляющих дамб (на фото показан двухфазный поток жидкости при $Q_{\text{рус}}=7,1$ л/с, $i=0,005$, $\mu=0,19$ г/л).

Таблица 2 – Результаты исследований плановых размеров зоны отрыва струй водного потока от береговых устоев зарегулированного русла

Уклон дна русла, i	Длина зоны отрыва на модели L_m , м	Длина зоны отрыва для природы L_n , м	Устойчивая ширина зарегулир. русла для природы B_n , м	$\frac{L_n}{B_n}$
0,005	0,78	28,0	23,3	1,20
0,010	0,85	26,9	20,5	1,30
0,015	0,93	26,9	18,5	1,45
0,020	1,08	29,7	17,9	1,66
0,025	1,24	32,6	17,1	1,91
0,030	1,32	33,4	16,4	2,04
0,035	1,39	34,2	16,0	2,14
0,040	1,56	37,3	15,5	2,41

длине испытуемого участка длиной $2B$ с конусностью 12° .

Понижая величины подаваемых расходов воды на модель зарегулированного русла до величины $5/7Q_{psc} \approx Q_{10\%}$ и ниже, мы наблюдали возникновение процесса заиления с увеличением отметок дна. Его интенсивность зависела от величин расходов воды, мутности потока и продолжительности опыта. Последний фактор, на наш взгляд, должен учитываться в дальнейших исследованиях, так как процесс заиления модели зарегулированного русла происходил с определенной цикличностью.

На начальном этапе каждого опыта после пропуска руслоформирующего расхода $Q_{1\%}$ в русло подавался двухфазный поток определенной величины ($Q_{10\%}$, $Q_{50\%}$) с расчетной мутностью, который формировал определенную подстилающую поверхность через распространение призм наносов. При выходе из зарегулированного русла в бытовое русло призма наносов на начальном этапе распространялась прямолинейно в направлении основных струй воды. Затем после выполаживания гребня призмы наносов, водный поток, выходящий из зарегулированного русла, разделялся с отклонением струй от продольной оси зарегулированного русла к берегам отводящего бытового русла. Это сопровождалось возникновением вдоль береговых креплений концевой участка зарегулированного русла некоторого подобия движения жидкости движению двухфазного потока на неустойчивой излучине.

Поскольку поток подавался по симметричной схеме размещения регуляционных сооружений на входном участке зарегулированного русла, переформирование режимов движения потока происходило одновременно как справа, так и слева с одинаковыми скоростями движения воды и величинами расходов. В процессе переформирования вдоль береговых креплений концевой участка зарегулированного русла происходил интенсивный размыв ранних донных отложений, а в центре его выходного сечения образовывалась отмель. В развитии процесса образование отмелей в виде наносных гряд по центру русла распространялось вверх по течению. В этом режиме движения двухфазного потока распространение призмы наносов в бытовом русле происходило с стороны его береговых устоев.

При достижении плановых размеров и величин отметок поверхности призмы наносов, на боковых участках значений отметок сформированной ранее призмы наносов на продольной оси русла наступало изменение направленности движения двухфазного потока. В этом случае поток принимал на бытовом отводящем русле продольную направленность. Гряды наносов, образовавшиеся ранее в центре зарегулированного русла, размывались с заполнением зон размыва дна. Отметка уровней воды в зарегулированном русле повышалась с увеличением отметок дна, поскольку для дальнейшего перемещения двухфазного потока жидкости на сопрягающем участке наблюдалось увеличение энергетических характеристик жидкости на участке зарегулированного русла.

В ходе проведения исследований было установлено, что процесс заиления наиболее интенсивно проходил при расходах $Q_{50\%} = 24 \text{ м}^3/\text{с}$, что для модели составляло $Q_{mod} = 3,1 \text{ л/с}$. При этом продолжительность одного цикла процесса заиления на модели составила 210 мин, что для природы будет равно 20,9 часа. Повышение уровней воды на модели зарегулированного русла и отметок его дна за указанное время произошло на величину $\Delta h_{mod} = 1,7 \text{ мм}$, для природы $\Delta h_{nat} = 0,061 \text{ м}$. Плановые размеры зоны развития призмы наносов на участке бытового отводящего русла относительно динамической оси потока в продольном направлении, составили $1,3 B$, а в поперечном $1,2 B$.

На основании результатов модельных исследований были сделаны следующие выводы: Устройство прямолинейного участка зарегулированного русла перед криволинейным подводящим руслом водозаборного гидроузла длиной, определяемой по формуле (2), позволит стабилизировать наносозащитные характеристики сооружения, и обосновано удлинить зарегулированную часть с целью увеличения его уклона до величины устойчивого. Это необходимо при проектировании водозаборных сооружений.

При уклонах дна прямолинейного зарегулированного и бытового отводящего русел, равных $0,005$, процесс заиления особенно интенсивно происходит при прохождении расходов $Q_{50\%}$. Одним из показателей его проявления можно считать образование отмели в центре концевой сечения зарегулированного русла.

Для уменьшения отрицательного воздействия русловых процессов в отводящем зарегулированном русле на элементы водозаборного гидроузла в его концевом сечении необходимо устройство сооружения, служащего фиксированным створом.

Литература

1. *Филончиков А.В.* Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках. Фрунзе: Кыргызстан, 1990. 376 с.
2. Гидротехнические сооружения для малой энергетики горно-предгорной зоны / под ред. Н.П. Лаврова. Бишкек: “Салам”, 2009. 504 с.
3. *Лавров Н.П., Рохман А.И., Логинов Г.И., Торонцов М.К.* Модель водозаборного сооружения деривационной ГЭС на р. Иссы-Ата // Вестник КРСУ. 2003. Т. 3. № 2. С. 87–93.
4. *Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н.* Гидроморфометрические характеристики горных рек. Фрунзе, 1968. 204 с.