

УДК 627.142 (282.255.45)

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕГУЛЯЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА УЧАСТКЕ РЕКИ ЧУ

Рустембек уулу Абдиназар, Мейман уулу Бектур

Описан процесс проведения модельных исследований участка реки Чу для устройства карьера сыпучих фракций. В ходе исследований учитывались следующие условия: расходы воды на рассматриваемом участке изменяются в широком диапазоне от 14,5 до 310 м³/с. Цель исследований – создание рационального перераспределения удельных расходов воды на рассматриваемом участке путем устройства струенаправляющих шпор определенной конструкции с максимальным объемом выемки грунта в карьере без подмыва и разрушения искусственных креплений откосов зарегулированного русла. Результаты проведенных исследований были использованы МЧС КР при строительстве регуляционных сооружений на трансграничных участках реки Чу в районе поселков Нижнечуйский и Камышановка.

Ключевые слова: река Чу; карьер сыпучих фракций; масштаб физических исследований; струенаправляющие шпоры.

ЧҮЙ ДАРЫЯСЫНЫН УЧАСТОГУНДА ЖӨНГӨ САЛУУЧУ КУРУЛМАЛАРДЫ МОДЕЛДИК ИЗИЛДӨӨНҮН ЖЫЙЫНТЫКТАРЫ

Бул макалада эшилме фракциялар карьерин орнотуу үчүн Чүй дарыясынын участогун моделдик изилдөө процесси сүрөттөлөт. Изилдөөнүн жүрүшүндө төмөнкү шарттар эске алынды: каралып жаткан участокто суунун чыгымдалышы кеңири диапазондо 14,5ден 310 м³/с.га чейин өзгөрөт. Изилдөөнүн максаты – суу тийбеген карьерде жерге максималдуу көлөмдө чуңкур казуу менен белгилүү бир конструкциядагы агымды буруучу түзүлүштү орнотуу жана жөнгө салынган суунун нугунун жантаймасындагы жасалма бекемдегичтерди бузуу аркылуу каралып жаткан участокто суунун салыштырмалуу чыгымдалышын кайра рационалдуу бөлүштүрүү. Жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн жыйынтыктары КР Өзгөчө кырдаалдар министрлиги тарабынан Чүй дарыясынын Төмөнкү Чүй жана Камышановка айылдарынын аймагындагы чек аралык учакторунда жөнгө салуучу курулуштарды курууда пайдаланылды.

Түйүндүү сөздөр: Чүй дарыясы; эшилме фракциялар карьеры; физикалык изилдөөлөрдүн масштабы; агымды буруучу түзүлүш.

RESULTS OF MODEL RESEARCH REGULATORY STRUCTURES IN THE SECTOR OF THE CHU RIVER

Rustembek uulu Abdinazar, Meyman uulu Bektur

The description is given of the process of conducting model studies of the Chu River section for the construction of a quarry of loose fractions. The following conditions were taken into account in the course of the research: water costs in the area under consideration vary over a wide range from 14.5 to 310 m³ / s. The purpose of our research was the creation of a rational redistribution of the specific water discharge in the considered section of the Chu River by means of the device of jet-driving spurs of a certain design with the maximum volume of excavation in the quarry without erosion and destruction of the artificial anchorages of the slopes of the regulated channel. Subsequently, the results of the findings were used by the Ministry of Emergency Situations of the Kyrgyz Republic in the construction of regulatory structures on the transboundary sections of the Chu River near the villages of Nizhnekchuysky and Kamyshanovka.

Keywords: Chu river; a quarry granular fractions; scale of the physical research; stream directing spurs.

Для создания рационального перераспределения двухфазного потока жидкости (вода – влекомые

наносы) в проектируемом карьере нерудных материалов было проведено физическое моделирование

участка зарегулированного русла реки Чу с устройством струенаправляющих шпор.

Русло реки Чу на исследуемом участке располагается на трансграничных территориях и имеет устойчивую ширину благодаря искусственному креплению откосов [1].

Расходы воды на рассматриваемом участке изменяются от 14,5 м³/с в меженный период до $Q_{1\%} = 310$ м³/с в паводок при руслоформирующем расходе $Q_{10\%} = 205$ м³/с. При этом глубина воды на исследуемом участке по примерным оценкам изменяется от 0,4 до 3,0 м.

Расчетная насыщенность потока влекомыми наносами средним размером 10 мм составила 0,18 кг/м³, расчетная насыщенность потока взвешенными наносами – 0,57 кг/м³.

В верхнем створе рассматриваемого участка расположен существующий карьер для разработки экскаватором гравийно-песчаного грунта в русле реки. Выделенный для карьера участок заканчивается островом в средней части русла. Русловые процессы, происходящие после строительства русловыпрямляющих дамб на данном участке реки Чу, характеризуются частичным подмывом внутренних откосов береговых дамб в осенне-зимний период при пропуске воды с Чумышского гидроузла.

Цель исследований – создание рационального перераспределения расходов воды на рассматриваемом участке реки Чу путем устройства струенаправляющих шпор определенной конструкции с максимальным объемом выемки грунта в карьере без подмыва и разрушения искусственных креплений откосов зарегулированного русла [1].

После выполнения подготовительных работ было проведено моделирование в следующей последовательности.

Вначале совместно с заказчиком ОсОО “Р и Р” был произведен выезд для натурных исследований зарегулированного участка реки Чу и для проведения наблюдений и необходимых измерений.

В ходе натурных исследований была проведена рекогносцировка с исследованием створов предполагаемого участка карьера. Был выполнен замер поверхностных скоростей с помощью поплавков при расходе воды в реке $Q = 100$ м³/с. Величина поверхностных скоростей на динамической оси потока, примыкающей к левому берегу (территория Кыргызской Республики) составляла от 2,27 до 2,6 м/с. Также было выполнено натурное обследование вышележащего карьера на реке Чу. В результате собеседования с исполнителями работ (мастером и экскаваторщиком) на существующем карьере были уточнены практические преимущества и недостатки используемых схем разработки инертных материалов.

Основными факторами, предопределившими выбор масштаба модели М 1:50, были плановые размеры лабораторного руслового лотка (2 × 6 м) и поперечные размеры натурального русла р. Чу – 75 м. На русловом лотке был воспроизведен участок натурального русла длиной 275 м с модельными размерами по урезу воды при прохождении паводкового расхода 205 м³/с в натуре, что на описываемой модели составляет 11,6 л/с с плановыми размерами потока.

Уклон дна руслового лотка МРУ соответствовал уклону речного русла и был равен $i = 0,0036$. Гидравлическое моделирование выполняли по критерию Фруда $Fr = idem$, при соблюдении автомо-

дельности по Рейнольдсу $Re_m = \frac{vh}{\nu} \geq Re_d = 2580$.

В качестве поисковых исследований в модельном русле была отсыпана поперечная шпора, устраиваемая под углом 90° к динамической оси потока с длиной по собственной оси 60 см (для натуре 30 м), завихрение водного потока были незначительными, и отложения наносов за телом шпоры отсутствовали. Призма наносов выглядела в виде прямолинейной косы, начинающейся у оголовка шпоры, и растягивающаяся на 150 см вниз по течению модели параллельно струям потока. Вдоль противоположного берега значительные размывы дна отсутствовали [2].

Затем были намечены эксперименты по определению наиболее приемлемого варианта устройства струенаправляющих шпор с изменением угла расположения в зарегулированном русле для формирования призмы наносов и применения механизированных средств разработки инертных материалов.

Для определения рациональных конструктивных параметров регуляционных сооружений были изучены элементы карьера для механизированной разработки гравийно-песчаной смеси. Проведены эксперименты по исследованию гидравлических процессов движения двухфазного потока жидкости (вода–наносы) и его взаимодействию со струенаправляющими шпорами и с береговыми элементами зарегулированного русла.

Основная задача экспериментов заключалась в определении рациональных параметров струенаправляющих шпор и изучении наносопривлекающей способности косо направленных струенаправляющих шпор для устройства карьеров по разработке сыпучих материалов (гравий–песок) со дна русла реки Чу.

Модельная площадка русловой установки КРСУ представляет собой закольцованную систему, выполненную по схеме, приведенной на рисунке 1. Напорный бак оснащен тарированным треугольным водосливом и встроенным шпитцен-масштабом.

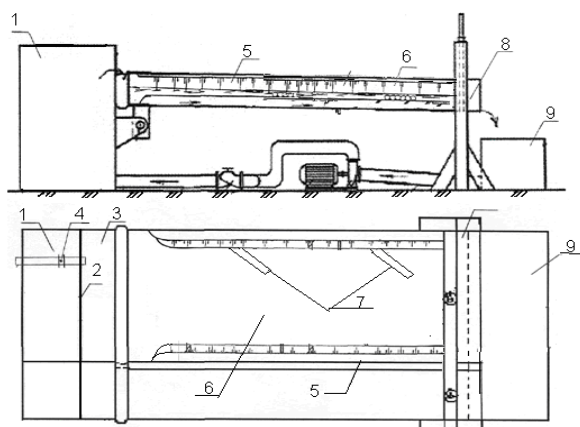


Рисунок 1 – Схема лабораторного руслового лотка МРУ: 1 – напорный бак; 2 – мерный водослив; 3 – бак гаситель; 4 – шпигунмасштаб; 5 – русловый лоток; 6 – моделируемое русло; 7 – струенаправляющие шпоры; 8 – винтовой подъемник; 9 – бак аккумулятора

Масштаб физических моделей выбирали исходя из необходимости соблюдения условий подобия гидравлических явлений в натуре и на модели. Для обеспечения требуемой точности проводимых исследований, учитывая параметры и конструкции пространственных моделей зарегулированного русла реки и струенаправляющих дамб, масштаб моделей принимали 1:50. Принятые масштабы были больше минимально допустимых масштабов, обеспечивающих автомодельность, определяемых по формуле Леви [2]:

$$\delta_{\min} = (30 \dots 50) \sqrt[3]{V_n^2 R_n^2}, \quad (1)$$

где V_n – скорость потока натуре, м/с; R_n – гидравлический радиус потока натуре, м.

Допустимые величины линейных масштабов моделирования показали достаточную достоверность результатов исследований при принятом линейном масштабе моделирования, равном $\delta = 50$, особенно относительно расходов воды в натуре – 75–205 м³/с.

Модели струенаправляющих дамб (рисунок 2) представляют собой насыпные грунтовые косо-направленные русловые вставки, начинающиеся у береговых устоев, с основанием, расположенным ниже средневзвешенной отметки (на 7,4 см) дна и гребня, устроенным над уровнем воды паводкового расхода. Геометрические параметры модели приведены в таблице 1.

До проведения экспериментальных исследований было необходимо определить фракционный состав наносов. С учетом рекомендаций В.Ф. Талмазы и А.Н. Крошкина [3] были рассчитаны гидроморфометрические характеристики р. Чу на рас-

считываемом участке, пересчитанные на модель М 1:50.

Средний диаметр русловых отложений рассчитан по формуле:

$$d_{cp} = 4,5 \cdot i^{0,9}, \quad (2)$$

где i – уклон дна рассматриваемого участка реки.

Величину средневзвешенного диаметра донных наносов транспортируемых расходами, отличными от руслоформирующего, определяли по зависимости:

$$d_i = d_{cp} \left(\frac{Q_i - Q_0}{Q_{p.ф.} - Q_0} \right)^{0,9}, \quad (3)$$

где Q_i – расчетный расход воды, м³/с; Q_0 – расход воды, соответствующий началу движения наносов в русле реки, определяется из отношения:

$$Q_0 = 0,15 \cdot Q_{10\%}, \quad (4)$$

где $Q_{10\%}$ – руслоформирующий расход воды, на основании рекомендаций [4] принят равным $Q_{p.ф.} = Q_{10\%}$.

Наибольшая скорость потока, при которой влекомые наносы начинают останавливаться, определена по зависимости:

$$V_{o.n.} = 1,4 \frac{m-1,5}{m+1} \left(\frac{H_i}{d_i} \right)^{\frac{1}{m}} \sqrt{\frac{\gamma_n - \gamma_s}{\gamma_s} g d}, \quad (5)$$

где m – показатель степени степенного закона распределения скорости по вертикали и определяется по рекомендациям [3, 4]; H – средняя глубина потока (м) определена по формуле:

$$H = \left(\frac{q}{5i^{0,2}} \right)^{\frac{1}{1,74i+1,5}}, \quad (6)$$

где q – удельный расход водного потока.

Расход влекомых наносов при заданном расходе воды на один метр ширины водного потока определен по зависимости:

$$q_i = 0,07 \frac{v^4}{\sqrt{H}} (v - v_{o.n.}), \quad (7)$$

где v – средняя скорость потока, м/с.

Результаты проведенных на МРУ КРСУ модельных исследований участка р. Чу при устройстве струенаправляющих шпор для устройства карьера инертных материалов, позволили сделать следующие выводы:

Применение струенаправляющих шпор в целях устройства карьера для механизированной разработки гравийно-песчаной смеси в русле реки Чу является предпочтительным как по опыту эксплуатации действующих карьеров, так и по результатам проведенного физического моделирования.

Конструктивные особенности струенаправляющих шпор оказывают существенное влияние на

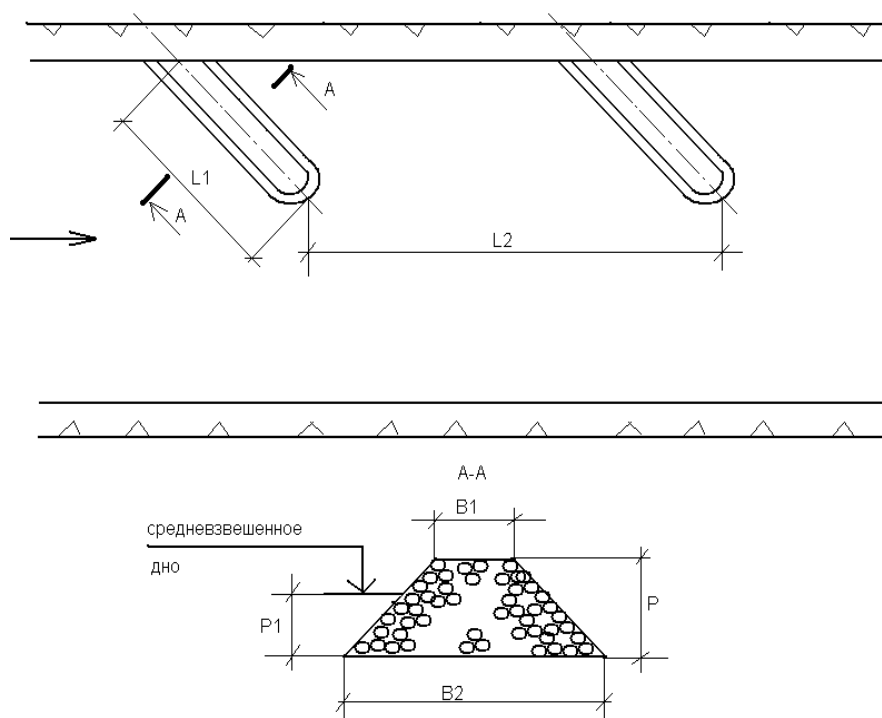


Рисунок 2 – Схема устройства струенаправляющих шпор на модели

Таблица 1 – Геометрические параметры струенаправляющих шпор на модели

Название параметра	Длина по оси, L1, см	Ширина по низу, B2, см	Ширина верха, B1, см	Полная высота, P, см	Заглубл. низа шпоры, P1, см	Расстояние между шпорами L2, см
Величина	93,0	23,0	16,0	11,8	7,4	200,0

степень перераспределения и объемы отложения призм наносов за счет создания продольно-поперечной циркуляции водного потока. Выполнены поисковые исследования эффективности шести различных вариантов конструкций струенаправляющих шпор, направленных против и по течению, и выбран рациональный вариант компоновки.

Рациональный вариант устройства регулирующих сооружений для участка карьера на р. Чу представляет собой две прямолинейные шпоры, выполненные из русловых отложений и крупнообломочного камня под углом 40° к линии бокового уреза левого берега по течению реки. Рекомендуемая длина шпор по оси составляет 46,5 м, ширина по гребню не менее 4 м, высота шпор над средне-взвешенным дном – 2,20 м, заглубление по средне-взвешенному дну основания шпор – 3,7 м. Расстояние между шпорами 100 м.

Выполненные исследования предлагаемой конструкции сооружения подтвердили эффективность применения последовательно устроенных струенаправляющих шпор. Объем отложений на участке между верхней и нижней шпорой при про-

хождении расхода воды $100 \text{ м}^3/\text{с}$ за 72 часа составляет 2322 м^3 песка и гравия.

Предложенная конструкция и компоновка струенаправляющих шпор была использована МЧС КР для регулирования русловых процессов реки Чу в нижнем течении на участках поселков Камышановка и Нижнечуйск.

Литература

1. *Леви И.И.* Моделирование гидравлических явлений / И.И. Леви. 2-е изд. перераб. и доп. В.С. Кнорозой. Л.: Энергия, 1967. 230 с.
2. *Агроскин И.И.* Гидравлика / И.И. Агроскин, Г.Т. Дмитриев, Ф.И. Пикалов. М.-Л.: Энергия, 1964. 352 с.
3. *Талмаза В.Ф.* Гидроморфометрические характеристики горных рек / В.Ф. Талмаза, А.Н. Крошкин. Фрунзе, 1968. 204 с.
4. *Лавров Н.П.* Результаты модельных исследований сопрягающих участков водозаборных гидротехнических сооружений из горных рек / Н.П. Лавров, Г.И. Логинов, Ю.Ф. Пархоменко // Вестник КРСУ. 2012. Том 12. № 6. С. 36–40.