

УДК 519.711:626/627:624.145.8
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-4-131-136

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ
ПОТОКА ВОДЫ РЕКИ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ МАКЕТЕ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ**

А.Ш. Токтогулова, Т. Жумаев

Аннотация. Рассматривается влияние донного течения речной воды в период полноводия на состояние волнистой поверхности утрамбованной насыпи из речных грунтовых материалов, которые выкопаны посередине дна реки. На дне канала последовательно и встык уложены ж/б желоба, верхние грани боковых стенок которых расположены на уровне дна реки, или же на уровне берегов канала, куда они были уложены параллельно и сходящимся острым углом в направлении потока воды. Предложен метод исследования режимов течения воды по поверхности, по глубине, и на дне реки на специально разработанном экспериментальном макете гидротехнического сооружения «русло реки с каналом и индикатором визуализации», который позволяет проводить натурные наблюдения за режимами течения на малых реках с фиксацией процесса фото- и киносъемки.

Ключевые слова: волнистая поверхность; утрамбованные насыпи; полноводие; экспериментальный макет; наблюдение.

**ГИДРОТЕХНИКАЛЫК КУРУЛМАНЫН
ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК МАКЕТИНДЕ ДАРЫЯНЫН СУУСУНУН АГЫМЫНЫН
РЕЖИМДЕРИН ИЗИЛДӨӨ МЕТОДИКАСЫ**

А.Ш. Токтогулова, Т. Жумаев

Аннотация. Макалада дарыянын толуп-ташып аккан мезгилиндеги дарыя суусунун агымынын дарыянын түбүнүн ортосунан казылып алынган дарыянын топурак материалдарынан алынган ныкталган жээктин толкундуу бетинин абалына тийгизген таасири каралат. Каналдын түбүнө темир-бетон чуңкурлары ырааттуу жана учу-кыйырына чейин төшөлөт, алардын каптал дубалдарынын үстүнкү беттери дарыянын түбүнүн деңгээлинде же каналдын жээктеринин деңгээлинде жайгашып, алар параллелдүү жана суунун агымынын багыты боюнча курч бурч менен жакындашып жатышты. Гидротехникалык курулманын атайын иштелип чыккан «каналы жана визуалдаштыруу индикатору менен дарыянын нугу» эксперименталдык макетинде суунун үстүнкү бети, терендиги жана дарыянын түбү боюнча агымынын режимдерин изилдөө ыкмасы сунушталган, ал фото жана кино тартуу процессин белгилөө менен чакан дарыяларда агымдын режимдерине табигый байкоо жүргүзүүгө мүмкүндүк берет.

Түйүндүү сөздөр: толкундуу бет; ныкталган жээк; толуп-ташып агуу; эксперименталдык макет; байкоо жүргүзүү.

**METHOD FOR INVESTIGATION OF FLOW REGIMES
AT THE RIVER BOTTOM OF WATER FLOW IN THE EXPERIMENTAL LAYOUT
OF HYDROTECHNICAL FACILITIES**

A.Sh. Toktogulova, T. Zhumaev

Abstract. This work is devoted to the study of the influence of the bottom flow of river water, during the period of high water, on the state of the wavy surface, from rammed embankments of river soil materials dug along the middle of the river bottom from under the canal, where here, at its bottom, are laid sequentially and end-to-end gutters, the upper

faces from their side wall are located on a par with the bottom of the river, or on a par with the banks of the canal, where they were laid parallel and converging at an acute angle in the direction of the water flow. For this purpose, a method is proposed for studying the regimes of water flow over the surface, in depth, and at the bottom of the river, on a specially designed and manufactured experimental model of a hydraulic structure «river bed with a channel and a visualization indicator», which allows for research by observation, visualization and fixation of photos, filming, flow regimes in natural water flow on small rivers.

Keywords: wavy surface; rammed embankments; high water; experimental model; observation.

Для защиты малых рек от ледовых заторов в суровые зимы, такие, например, как были в Кыргызстане в 2012–2013 и 2017–2018 гг., были разработаны методика и устройство гидротехнического сооружения [1–3], способные предотвратить формирование заторов льда на отдельных участках рек путем отвода обломков покрова льда и снега. Это устройство также позволяет ликвидировать и зазорные формирования, возникающие в русле реки в зимнее время. На рисунке 1 приведена схема предложенного гидротехнического сооружения (вид сверху). Вода поступает с верхней перегородки русла реки в бассейн 1, выполненный в форме половины воронкообразной, лежащей на боку емкости. Вместе с потоком талых вод, вытекающих из-под льда, обломки льда и шугообразные образования отводятся в нижний бассейн 2 по ж/б желобам 3, последовательно вложенными встык в вырытый канал, дно которого находится ниже дна реки и посередине русла самой реки. На этих участках русла реки, где всегда формируются заторы льда в холодные зимы, лед, покрытый снегом, всегда лежит неподвижно. Талые воды из-под волнистых поверхностей насыпей, которые параллельны и сходятся острыми углами в направлении потока воды, на утрамбованных насыпях 4, будут уходить в желоб, поступая туда по бокам, унося вниз обломки льда и снега, а также зазорные формирования, поступающие с верхнего бассейна 1 с потоком воды.

Кроме того, что параллельные волнистые поверхности насыпей, которые лежат по берегам канала с желобами, сходящимися острыми углами в направлении потока воды, они еще дополнительно уплотнены крупными валунами и надежно затрамбованы. Для того чтобы скоростные поводковые потоки воды по дну реки не смыли волнистые поверхности насыпей был разработан и изготовлен специальный экспериментальный макет гидротехнического сооружения, представленный на рисунках 2–4, позволяющий визуально наблюдать за процессом и фиксировать с помощью фото- и киносъемки режимы движения потока воды.

Конструкция экспериментального макета (рисунки 2 и 3) разработана на основе модели гидротехнического сооружения, представленного как геометрическая модель (см. рисунок 1), известной по работам [1–3], и в соответствии с разработанной программой и методикой экспериментальных исследований. Она позволяет получать реальные картинки о влиянии волнистой поверхности на дне реки в виде утрамбованных насыпей из речных грунтовых материалов и потоков речной воды на дне реки. Это позволяет определить минимальные затраты по финансовым, материальным и трудовым ресурсам, а также планировать выбор места экспериментального участка и времени года, с учетом охраны труда и техники безопасности в период проведения эксперимента.

Макет изготовлен из влагостойкой древесно-стружечной фанеры российского производства, толщиной до 12 мм, со стандартными контурными размерами: длина 2500 мм, ширина 1250 мм, которая всегда имеется в продаже на рынках Бишкека. Длина макета составляет 5000 м, что позволяет транспортировать его до экспериментального участка и обратно с помощью установленного багажника на легковом автомобиле. Макет быстро собирается воедино из двух частей, жестко соединяемыми встык болтовыми креплениями прямо у берега реки (рисунок 2). В поперечном сечении макет выполнен как «открытый канал с желобами» в виде равнобедренной трапеции. По бокам макет оснащен ступеньками, представляющими собой береговые донья русла реки, с брусками, окрашенными в красный цвет, параллельно сходящимися острыми углами в направлении потока воды, с утрамбованными насыпями, лежащими на дне реки и по берегам канала, а также с береговыми стенками русла реки.

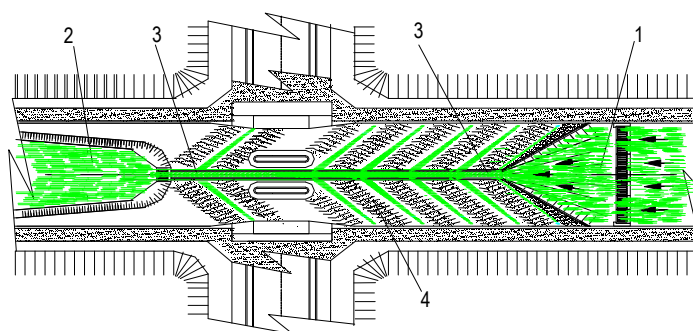


Рисунок 1 – Гидротехническое сооружение, вид сверху:
1 – верхний бассейн; 2 – нижний бассейн;
3 – ж/б желоба, последовательно и встык уложенные на дне вырытого канала посередине русла реки;
4 – утрамбованные насыпи



Рисунок 2 – Стыковка конструкций из двух частей экспериментального макета прямо на берегу реки, длиной 5 м



Рисунок 3 – Испытания на прогиб соединенных встык двух макетов.
Один из них погружен в поток речной воды и удерживается с помощью натянутых по берегам веревок

Из фанеры, шириной 1250 мм, был выполнен раскрой всех стенок макета, длиной 2500 мм. Были вырезаны следующие элементы: 2 единицы береговых стенок русла реки, высотой по 170 мм; 2 полки шириной по 180 мм, как дно русла реки. А также по берегам канала, где были закреплены брусья красного цвета под острым сходящимся углом по направлению потока воды; 2 боковые стенки желоба трапецидальной формы, высотой по 170 мм; ширина дна желоб $b = 1250 - (2 \times 170 + 2 \times 180 + 2 \times 170) = 210$ мм. Угловые соединения стен макета между собой выполнены с помощью покупных металлических уголков.

Для обеспечения жесткости и прочности конструкции макета, каждая часть по отдельности усилена: в поперечном направлении по низу и по бокам окантована четырьмя рейками, равными шагу длины макета, а по верху береговые стенки макета стянуты тремя рейками, в продольном – по длине четырьмя сплошными рейками, по каждому углу макета. Материалы рейки выбраны из прочной древесины – лиственницы, у которой прочность и устойчивость к влаге гораздо выше, но она дороже, чем сосна. Конструкция макета была испытана на прочность и жесткость после сборки на нагрузку более 700 Ньютон. Это осуществлялось путем прохода сотрудников массой более 70 кг по береговым стенкам русла реки, через поперечную доску и без нее.

Для обеспечения долгосрочной влагостойкости конструкции макета, вся его поверхность и рейки были покрыты бесцветным лаком, а поверхности внутри макета покрашены в белый цвет. По всей длине макета, на внутренней его поверхности – на береговых стенках русла реки и по берегам канала были нанесены метрологические метки с интервалом 50 см линиями черного цвета (рисунки 2 и 3), с помощью которых можно фиксировать и оценивать режимы движения потока воды в русле и на дне реки.

Составным элементом макета являются индикаторы для наблюдения за режимом течения потока воды. Материал индикатора – 100 %-ная хлопковая плетеная фабричная лента, шириной 2 см, которая всегда имеется в продаже (рисунок 4). В ходе эксперимента было установлено, что только ленты из хлопка хорошо смачиваются (рисунок 5) – $\rho_{\text{см.лента}} \approx \rho_{\text{воды}}$. Ленты находятся в потоке на том уровне, куда погружены их концы, в виде кронштейна, горизонтально закреплённого во входе речной воды в макет, на различном уровне по глубине погружения в живое сечение макета.

Момент погружения экспериментального макета показан на рисунке 6.



Рисунок 4 – Разноцветная плетеная лента – тесьма в елочку, из 100% хлопка, шириной 2 см



Рисунок 5 – Лента из 100 % хлопка, смоченная в воде. Видно, что погруженная лента находится на плаву



Рисунок 6 – Момент погружения экспериментального макета с помощью натянутых по берегам реки веревок и выбор места для проведения серии экспериментов

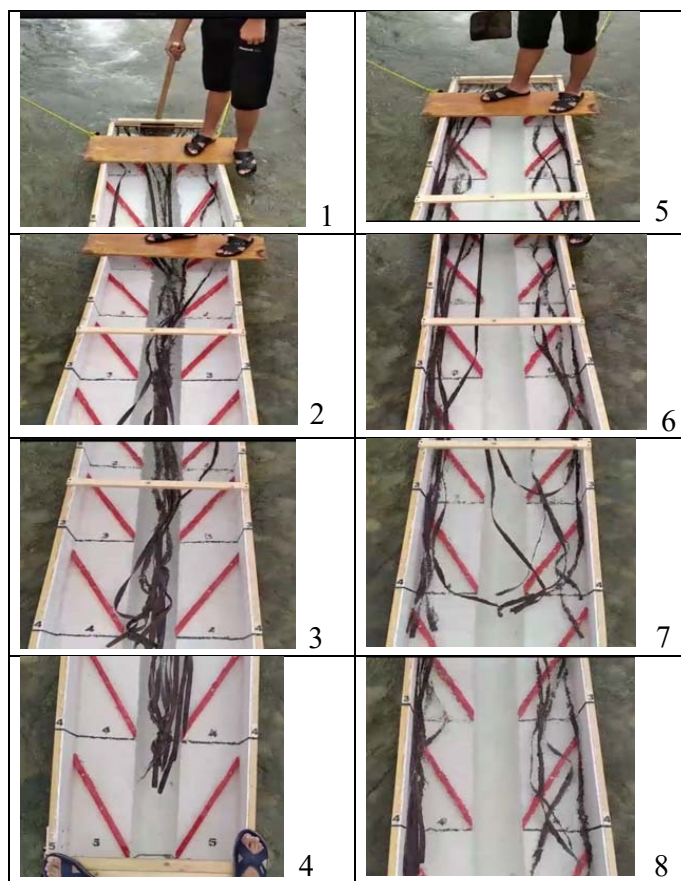


Рисунок 7 – Вид расположения индикаторов при двух режимах течения потока воды на экспериментальном макете на реке Ала-Арча в г. Бишкеке, выше моста по ул. Льва Толстого и до ул. Матыева весной 2019 г.

На рисунке 7 представлены два эпизода из серии экспериментов, где ленты в правой колонке рисунка явно демонстрируют режим плавного потока, близкого к ламинарному течению, а в левом – бурного потока, в виде турбулентного движения.

На обоих режимах индикаторы ленты были на плаву, поверх брусьев (красные), не упираясь в них, закрепленных в качестве утрамбованных насыпей, лежащих на дне реки и по берегам канала. Макет гидротехнического сооружения снабжен съемными досками для перемещения персонала, а также индикатором в виде ленты из 100 %-го хлопка для наблюдения за ходом течения воды (рисунок 7). Она размещена параллельными рядами, с равными интервалами на рейке – кронштейне обтекаемой формы и служит как индикатор, позволяющий получать наглядную физическую информацию о различном характере течения речной воды в реальном режиме. Ленты, закрепленные в ряд на кронштейне на уровне верха брусьев (красные), во время эксперимента были на плаву в струе воды, и ни одна лента не упиралась в них, поскольку они были закреплены на утрамбованных насыпях, лежащих на дне реки и по берегам канала.

Результаты эксперимента на макете показали, что струя потока воды по дну реки на упор не давит, а течет поверху насыпи и в заполненных водой впадинах волнистой поверхности на дне реки. При малых потоках воды, когда закрыт торец желоба лопаткой (см. рисунок 7, слева), и все красные брусья макета и ленты с кронштейном заметно погружены в живое сечение потока воды, ни одна из лент не упиралась в брусья, а находились они сверху них. Однако под влиянием силы течения воды как по углам брусьев, так и между брусьями они сходятся вместе в центре потока воды. При убранной лопатке (см. рисунок 7, справа), под влиянием обильного потока воды из реки по желобам, несмотря на наличие потока воды по углам брусьев, ленты отклонялись от центра и прижимались к стенкам берега. И здесь также ни одна из лент не упиралась в брусья, а все они находились поверх брусьев. Известно, что в период половодья течет в основном вода. Если даже случится срыв затора льда в русло реки, то уносимые с потоком воды куски льда не достанут дна реки, поскольку они не тонут в реке, а находясь сверху, уносятся вниз.

Заключение. Результаты экспериментов на макете показали, что поток воды по дну реки не давит на упор, а течет поверху насыпей и в заполненных водой впадинах волнистых поверхностей на дне реки. Таким образом, экспериментальный макет может служить в качестве физической модели русла реки для исследования режимов течения и глубины слоев потока воды. Плотность смоченных лент оказывается очень близкой воде, в случае, если они состоят из 100 %-ного хлопка. Индикатором могут служить не только ленты, но и нитки из 100 % хлопка.

Поступила: 03.03.23; рецензирована: 17.03.23; принята: 20.03.23.

Литература

1. Гидротехническое сооружение для предотвращения заторообразований на реке. Патент KG 2250 С1 15.06.2021. Бюл. № 6/1. Институт геомеханики и освоения недр НАН КР (KG).
2. *Токтогулова А.Ш.* Методы борьбы с возникновением заторов и зажоров на реках Ала-Арча и Аламедин в черте г. Бишкек / А.Ш. Токтогулова // Известия вузов Кыргызстана. 2021. № 6. С. 12–17.
3. *Токтогулова А.Ш.* Гидротехническое сооружение для предотвращения образования ледяных заторов на реках Кыргызстана / А.Ш. Токтогулова, И.А. Абдурасулов, Т.З. Масалбеков // Яковлевские чтения: сб. докл. XVI Межд. науч.-технич. конф., посв. памяти акад. РАН С.В. Яковлева. М.: Изд-во МИСИ – МГСУ, 2021. С. 220–233.