

УДК 626.816:627.886

DOI: 10.36979/1694-500X-2021-21-8-85-90

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПЕСКОГРАВИЕЛОВКИ ДЛЯ ОТКРЫТЫХ КАНАЛОВ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИСТЕМ

*Г.И. Логинов, Б.Б. Курумшиев, И.К. Амерканов, А.Н. Исмаилов*

Обосновывается необходимость совершенствования конструкций пескогравиеловки в составе водозаборных гидроузлов, подающих воду из горных рек. Приведен анализ существующих компоновок пескогравиеловки и предложена усовершенствованная конструкция сооружения. Дано теоретическое обоснование параметров отдельных элементов предложенной конструкции. Использование представленной конструкции пескогравиеловки позволит повысить эффективность эксплуатации водохозяйственных систем горно-предгорных территорий и обеспечит рациональное использование объемов воды при водоподаче из рек.

*Ключевые слова:* водозаборные гидроузлы; водоподача; наносозащита; открытые каналы; пескогравиеловка; расходы воды; донные наносы; пульповод; промывная галерея.

---

## СУУ ЧАРБА СИСТЕМАЛАРЫНЫН АЧЫК КАНАЛДАРЫ ҮЧҮН ӨРКҮНДӨТҮЛГӨН ШАГЫЛ ТОСКУЧТУН КОНСТРУКЦИЯСЫ

*Г.И. Логинов, Б.Б. Курумшиев, И.К. Амерканов, А.Н. Исмаилов*

Бул макалада тоо дарыяларынан суу жеткирүүчү суу түйүндөрүнүн курамындагы кум шагыл тоскучтун конструкциясын жакшыртуу зарылдыгы далилденген. Кум шагыл тоскучтарынын учурдагы макеттерине талдоо жүргүзүлөт жана курулманын жакшыртылган конструкциясы сунушталат. Сунушталган конструкциянын айрым элементтеринин параметрлерине теориялык негиздеме келтирилген. Кум шагыл тоскучтун сунушталган конструкциясын колдонуу тоолуу жана тоо этектериндеги аймактарда суу чарба системасынын ишинин натыйжалуулугун жогорулатат жана дарыялардан суу алууда суунун көлөмүн сарамжалдуу пайдаланууну камсыз кылат.

*Түйүндүү сөздөр:* суу алуучу гидро түйүндөр; суу берүү; кум шилендисинен коргоо; ачык каналдар; кум шагыл тоскуч; сууну сарптоо; түпкү кум шилендилери; суу түтүктөрү; жуучу галерея.

---

## IMPROVED DESIGN OF A SAND TRAP FOR OPEN CHANNELS OF WATER MANAGEMENT SYSTEMS

*G.I. Loginov, B.B. Kurumshiev, I.K. Amerkhanov, A.N. Ismailov*

The article substantiates the need to improve the design of sand traps as part of water intake waterworks that supply water from mountain rivers. The analysis of existing sand trap layouts is given and an improved structure design is proposed. The theoretical justification of the parameters of individual elements of the proposed design of the sand trap is given. The introduction of the presented design of a sand gravel machine will increase the efficiency of operation of water management systems in mountainous foothill areas and ensure the rational use of water volumes when supplying water from rivers.

*Keywords:* water intake waterworks; water supply; nanosecurity; open channels; sand-graving; water consumption; bottom sediments; slurry pipeline; washing gallery.

Открытые каналы являются основными сооружениями водохозяйственных систем, которые устраиваются для подачи воды по транзит

или при водораспределении. Устройство пескогравиеловки на головных участках производится для предупреждения заиления и защиты

от наносов водопользователей с целью повышения эффективности использования водных ресурсов.

Защита от наносов каналов производится с помощью элементов водозаборного гидроузла, устраиваемого русле или пойме реки [1]. При этом в составе головных гидроузлов различают следующие ступени для отделения наносов от подаваемых объемов воды водохозяйственных системы:

I ступень – организуется с помощью криволинейной формы подводящего русла головного сооружения. При этом водный поток, перемещающийся вдоль вогнутого берега, за счет продольно поперечной циркуляции воды перемещает наносы к выпуклому берегу, где в подпорном створе размещаются основные водосбросы;

II ступень – представляет собой верхний бьеф сооружения, наносозащитные пороги и промывные отверстия в подпорном створе. Она включается в процесс наносозащиты при высоких коэффициентах водозабора, когда в русле реки проходит наименьшие расходы воды;

III ступень – как правило устраивается в водоприемной камере водозаборного сооружения в виде наносоперехватывающих галерей, понижений отметок дна с промывными отверстиями, оборудованными затворами [2];

IV ступень – представляет собой пескогравелиловку, устраиваемые в начале отводящих открытых каналов;

V ступень – выполняется в виде устройства отстойников, которые за счет гравитации производят очистку воды от наносов заданного диаметра.

Приведённые ступени очистки от наносов отличаются методами воздействия на наносы.

Первая, третья и четвертая ступени воздействия на наносы используют циркуляцию водного потока для направления их движения или осаждения. Такой процесс называется активным способом наносозащиты.

Вторая ступень, в зависимости от величины коэффициента водозабора, может проявляться в качестве пассивной или активной наносозащиты. При высоких коэффициентах водозабора верхний бьеф используется в качестве однокамерного отстойника с периодической промывкой. С ростом сбрасываемых расходов воды

вдоль наносозащитного порога возникает циркуляционный валец, транспортирующий наносы к промывному отверстию, что увеличивает периоды в работе сооружения без промывки верхнего бьефа.

Пятая ступень использует гравитацию для осаждения наносов при малых скоростях потока. Для этого создаются достаточные емкости с целью накопления седиментов, которые периодически промываются.

Как показали наблюдения за работой наносозащитных элементов водозаборных гидроузлов, устраиваемых для забора воды из горно-предгорных участков рек, при их работе, в зависимости от гидрологического режима и коэффициента водозабора, различные ступени наносозащиты используются для защиты от различных по крупности наносов:

- в пределах первой ступени идет защита от наносов от 30 до 500 мм;
- на второй и третьей ступенях отделяются наносы диаметром от 5 до 50 мм;
- на четвертой ступени вода очищается от частиц диаметром от 1 до 30 мм;
- в зоне пятой ступени отстойников вода отделяется от наносов диаметром от 0,1 до 5 мм, в зависимости от требований водопотребителей.

Анализ отложений наносов в каналах деривационных ГЭС свидетельствует, что больший процент в отложениях наносов заиления имеют фракции песка и гравия с диаметром от 1 до 15 мм. При этом попадая в отстойники, крупные частицы откладываются в начале камер отстойников и приводят к значительному увеличению длительности промывок. Это определяет необходимость устройства более усовершенствованных конструкций пескогравелиловок по трассе каналов и перед отстойниками.

Наиболее известной пескогравелиловкой является конструкция, выполненная в виде донного наносотводящего лотка (рисунок 1) [1].

Основным недостатком этой конструкции является необходимость наличия большого количества воды для проведения активной наносозащиты. Это происходит из-за того что для эффективной ее работы необходимо формирование двух циркуляционных валцов в зоне стенок циркуляционного вальца. При снижении сбрасываемых расходов циркуляционные валцы

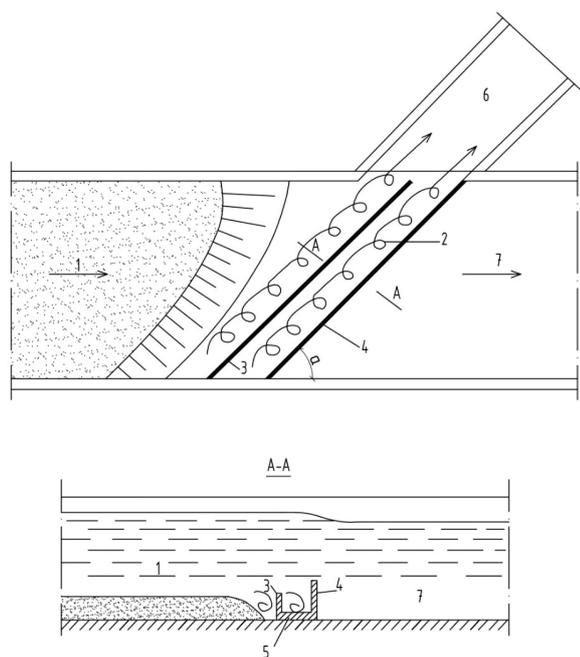


Рисунок 1 – Конструкция пескогравелиовки в виде донного лотка: 1 – подводный участок канала; 2 – циркуляционный валец; 3 – передняя стенка лотка; 4 – задняя стенка лотка; 5 – дно лотка; 6 – пульповод, 7 – отводящий участок канала

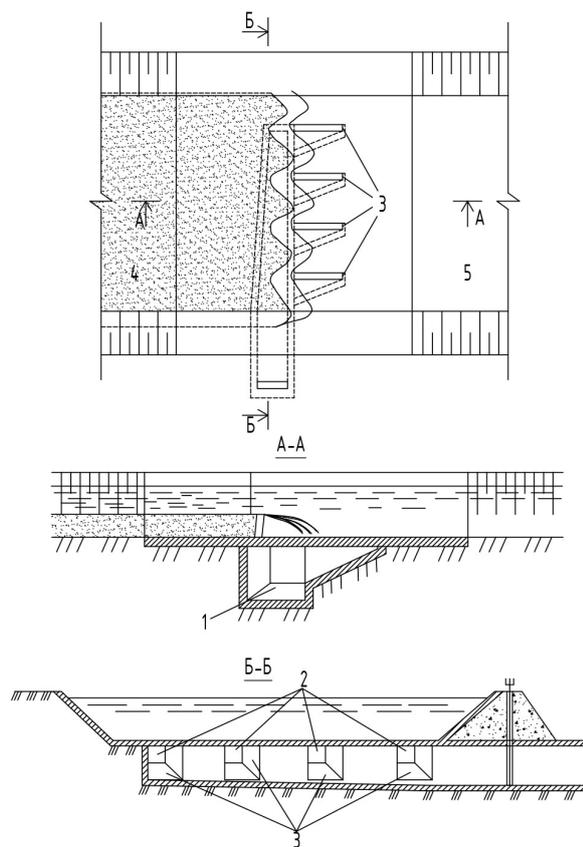


Рисунок 2 – Конструкция щелевой пескогравелиовки: 1 – отводящий пульповод; 2 – донные галереи; 3 – щели в донной плите канала; 4 – подводный канал; 5 – отводящий канал

в средней части угасают и наносы транспортируются на участок отводящего канала.

Такие конструкции пескогравелиовок в 60–70-х годах XX в. были установлены на многих водозаборных гидроузлах стран Центральной Азии. На данный момент они выведены из эксплуатации из-за низкой эффективности.

В качестве наиболее совершенной пескогравелиовки можно привести щелевую конструкцию устройства (рисунок 2) [2].

Наиболее продуктивно эта пескогравелиовка работает при безнапорном движении воды. При этом коэффициент расхода истечения через щели будет максимальным и скорости на входе будут больше средних скоростей воды на подводном участке канала.

Но анализ результатов работы этой конструкции свидетельствует, что она неэффективна при удалении наносов крупных фракций, поскольку привлекаемые к устройству крупные наносы забивают щелевые вырезы или не перемещаются в зону щелей, транспортируясь по транзиту. Увеличение площади щелей по-

вышает пропускную способность и снижает эффективность работы, так как приводит к напорному движению в донных галереях и в пульповоде, что вызывает подтопление щелей и снижает их работоспособность.

Учитывая указанные недостатки существующих пескогравелиовок, авторами была разработана конструкция сооружения, приведенная на рисунке 3.

Работа этой конструкции основана на относительном увеличении скоростей водного потока по длине сбросного тракта пескогравелиовки. В работах Рейнольдса и Чанга также указывается на направление донных токов воды и наносов в створы с большими скоростями [3]. Повышению транспортирующей способности способствует и кривизна промывной галереи.

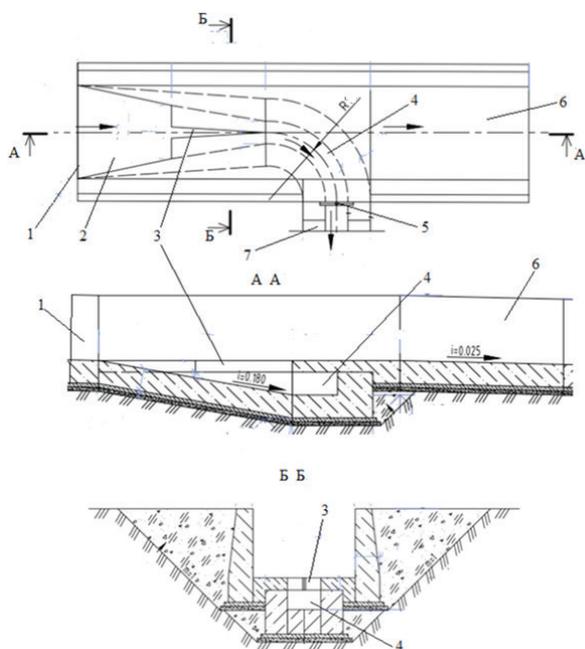


Рисунок 3 – Конструкция пескогравелиловки с донной криволинейной сбросной галереей:  
 1 – подводящий канал, 2 – уклонное дно;  
 3 – остроугольный вырез в донной плите;  
 4 – наносоотводящая галерея с криволинейным трактом; 5 – затвор регулятор пескогравелиловки;  
 6 – отводящий канал;  
 7 – пульповод пескогравелиловки

Подобная конструкция была разработана в 1999–2000 гг. И.К. Рудаковым и А.И. Рохманом в Кыргызском сельскохозяйственном институте для удаления наносов по трассе каналов быстротоков. Эта конструкция использовала кинетическую энергию водного потока в каналах-быстротоках для повышения транспортирующей способности потока воды внутри галереи. При этом донная галерея имела увеличенный радиус кривизны, которая оказывала незначительное влияние на движение наносов.

Приведенная конструкция (см. рисунок 3) была рекомендована для каналов со спокойным режимом движения воды. Поэтому одним из факторов, повышающих привлекающую и транспортирующую способность пескогравелиловки, является криволинейная часть конструкции с минимальным диаметром. На этом участке при сбросе объемов воды будет возникать пониженное давление, что повышает привлекающую

способность промывного сечения [3–5] наносотводящей галереи.

На криволинейном участке наносоотводящей галереи водный поток будет двигаться с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , вокруг центра окружности. Такое движение воды описывается уравнением Эйлера в виде полного дифференциала [3]:

$$dp = p(F_x dx + F_y dy + F_z dz), \quad (1)$$

где  $p$  – полное давление в любой точке жидкости;  $\rho$  – плотность жидкости;  $F_x$ ;  $F_y$ ;  $F_z$  – проекции массовых сил на соответствующей оси координат, имеющие размерность ускорения.

Рассматривая частный случай напорного движения воды на поворотном участке галереи, предположим, что на верхней части потока будет наблюдаться одинаковое давление  $P_{пог} = const$ , которое возникает от действия глубины и скоростного напора воды в основном русле канала. При этом  $dp = 0$  и  $\rho \neq 0$ . Тогда

$$(F_x dx + F_y dy + F_z dz) = 0. \quad (2)$$

Проекция массовых сил на соответствующие оси  $X, Y, Z$  (рисунок 4) будут равны:

$$F_x = \omega^2 x; F_y = \omega^2 y; F_z = -g. \quad (3)$$

Подставляя выражения (3) в уравнение (2), получим:

$$(\omega^2 x dx + \omega^2 y dy - g dz) = 0. \quad (4)$$

Интегрируя выражение (4) при  $\omega = const$ , получим уравнение:

$$\omega^2 \left( \frac{x^2}{2} + \frac{y^2}{2} \right) - gz = c \quad (5)$$

Имея в виду, что  $x^2 + y^2 = r^2$ , где  $r$  – радиус, на котором произвольная точка потока будет удалена от центра кривизны участка галереи, может быть выведено выражение:

$$\frac{\omega^2 r^2}{2} - gz = c. \quad (6)$$

При  $r = 0$  выражение  $\frac{\omega^2 r^2}{2}$  будет равно 0.

Тогда значение  $c$  будет равно:

$$c = -gz. \quad (7)$$

Учитывая это, можно сделать вывод, что изменение давления в поперечном сечении на криволинейном участке будет изменяться за счет изменения скоростей движения воды. Принимая во внимание то, что поток будет напорным, изменение гидростатического давления по вертикали промывной галереи будет проходить по одинаковой закономерности.

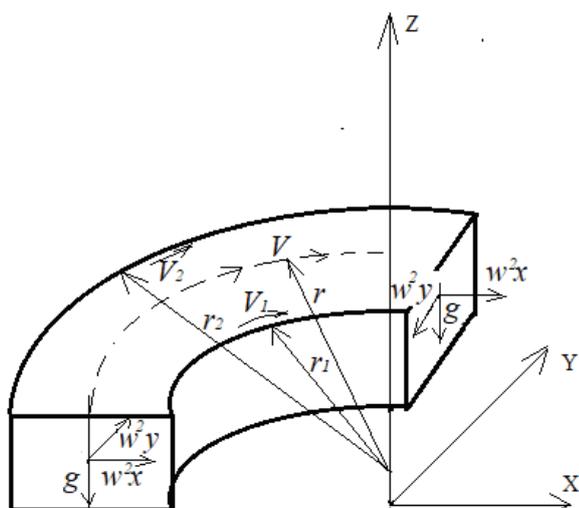


Рисунок 4 – Схема измерений для водного потока, движущегося в напорном режиме на поворотном участке

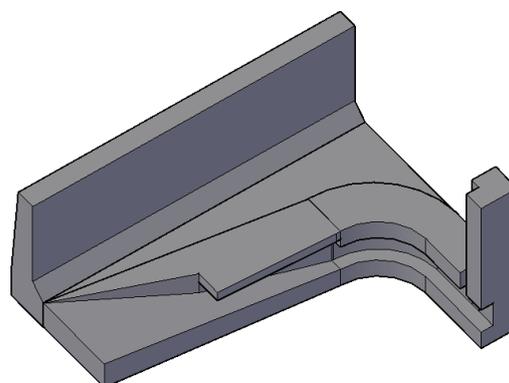


Рисунок 5 – 3D-графическое представление конструкции пескогравелиловки с криволинейной галереей

сти по всей поверхности поперечного сечения. В этом случае относительно расчетной схемы участков потока, движущихся вдоль вогнутого и выпуклого берега, приведённой на рисунке 4, можно записать:

$$dp = \frac{\omega^2 r_2^2}{2} - \frac{\omega^2 r_1^2}{2}. \quad (8)$$

Задавая условия, что средняя скорость сбрасываемого водного потока будет наблюдаться в центре промывной галереи, а также учитывая вид зависимости угловой и окружных скоростей водного потока  $\omega = V/r$ , можно получить следующую формулу:

$$dp = \frac{V^2 \frac{r_2^2}{r^2}}{2} - \frac{V^2 \frac{r_1^2}{r^2}}{2} \rightarrow dp = \frac{V^2 r_2^2 - V^2 r_1^2}{2r^2}. \quad (9)$$

Полученная формула доказывает, что в наибольшей степени снижение давления на криволинейном участке будет зависеть от величины средней скорости движения водного потока и величины разности внешнего и внутреннего радиусов (рисунок 5).

С ростом скоростей водного потока на криволинейном участке наносоотводящей галереи будет наблюдаться рост разности давления, что будет определять повышение привлекающей способности пескогравелиловки относительно

донных наносов с повышением эффективности ее работы.

Преобразование уравнения Эйлера позволило обосновать рациональные параметры криволинейной галереи с крутым поворотом для повышения привлекающей и транспортирующей способности водного потока на участке канала с устройством пескогравелиловки.

**Выводы.** Защита от донных и взвешенных наносов при водозаборе из горных рек в ирригационные и гидроэнергетические системы является одной из важнейших проблем. Так как попадание седиментов в водоводы и устройства этих систем вызывает возникновение аварийных ситуаций в виде заилиenia каналов и трубопроводов, приводит к поломке гидравлических затворов, истиранию рабочих поверхностей насосов и гидротурбин. Это приводит к большим экономическим потерям при проведении ремонтных и восстановительных работ.

В качестве наносозащитных элементов чаще всего применяются следующие устройства и конструкции: криволинейные русла, наносозащитные пороги и галереи, промывные тракты, пескогравелиловки, отстойники.

На водохозяйственных системах Кыргызстана, расположенных в горно-предгорной зоне, практически все указанные выше элементы

размещаются в зоне водозаборных гидроузлов из малых горных рек.

В зависимости от режима движения водного потока и создаваемых гидравлических структур, различают активную или пассивную наносозащиту. При активной наносозащите наносы отводятся от водоприемных элементов систем водоподачи циркуляционными структурами водного потока. При пассивной защите наносы откладываются на дне устройства за счет действий сил гравитации. Пассивная наносозащита наблюдается при устройстве отстойников, на участке которых должны откладываться самые мелкие наносы. При отложении в них крупных наносов процесс очистки и промыва камер отстойника затрудняется и требует привлечения механических средств. Для того чтобы предупредить попадание крупных фракций наносов в отстойники, перед ними устанавливаются пескогравиеловки.

Анализ существующих конструкций пескогравиеловок свидетельствует об их существенных недостатках для устройства на горно-предгорных участках отводящих каналов. Результаты проведенных исследований позволили авторам усовершенствовать конструкцию щелевой пескогравиеловки. Использование предложенной

конструкции позволит повысить эффективность эксплуатации водохозяйственных систем горно-предгорных территорий и обеспечит рациональное использование объемов воды при водоподаче из горных рек.

#### *Литература*

1. *Дианов В.Г.* Пескогравиеловка / В.Г. Дианов, А.А. Останков (SU 1051156 А) МПК E02B 8/02(2006.01).
2. *Тулупбаева Н.Е.* Пескогравиеловка с наносозахватными щелями / А. Абдураманов, Н.Е. Тулупбаева и др. (KZ A4 26768). Опубликовано 15.04.2013.
3. *Логинов Г.И.* Гидравлические процессы. Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек / Г.И. Логинов. 2-е изд., перераб. и доп. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. 196 с.
4. *Чалов Р.С.* Руслвые процессы (руслведение): учебное пособие / Р.С. Чалов. М.: ИНФРА-М, 2016. 565 с.
5. ГОСТ Р 58719–2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Гидравлические электростанции. Гидротехнические сооружения. Контрольно-измерительные системы и аппаратура. Условия создания. Нормы и требования.