DOI УДК 631.6

О КОНСТРУКЦИЯХ ПО БОРЬБЕ С НАНОСАМИ И ПЛАВНИКОМ НА ВОДОПОДВОДЯЩИХ КАНАЛАХ

БАЗАРОВ Дильшод Райимович, *Ташкентский институт ирригации и механизации сельского хозяйства*

НОРКУЛОВ Бехзод Эшмирзаевич, *Ташкентский институт ирригации и механизации сельского хозяйства*

МАРКОВА Ирина Михайловна, *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

ЕРМИЛОВ Михаил, *Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

ТАДЖИЕВА Дурдона Облакуловна, *Самаркандский государственный архитектурный строительный институт*

В статье приведены результаты аналитического обзора основных плавучих конструкций, эксплуатируемых в водоподводящих сооружениях. Отмечено, что существует два класса плавучих конструкций: активные – воздействующие на режим потока и изменяющие его структуру в выбранном направлении (плавучие регуляторы, струенаправляющие устройства для изменения структуры потока); пассивные – устраняющие неблагоприятное воздействие ингредиентов потока на элементы гидротехнического узла насосной станции, не изменяя его структуры и параметров (плавучие запани, аэрозавесы). Сформулированы основные требования к проектированию плавучих устройств: уменьшение гидравлических потерь (обтекаемость понтонов и отбойных щитов); повышение устойчивости, прочности, маневренности условий для монтажа на воде; обеспечение водонепроницаемости герметичных отсеков, возможности балансировки и ремонта, увеличение функциональной надежности и эффективности. Предложена принципиально новая схема конструктивных элементов подводящего канала, способствующая уменьшению поступления как донных, так и взвешенных наносов в основное русло подводящего канала.

Введение. Актуальность исследования основных плавучих конструкций, эксплуатируемых в водоподводящих сооружениях, обусловлена обеспечением водой основной орошаемой площади Республики Узбекистан каналами машинного водоподъема. Улучшение эксплуатационных характеристик гидротехнических систем может быть обеспечено за счет разработки принципиально новых устройств, использующих гидродинамические закономерности движения многофазного потока. Обеспечение агрегатов насосных станций достаточно осветленной водой служит продлению срока эксплуатации и гарантированного забора воды насосных станций.

Методика исследований. Исследование включало в себя обзор и анализ существующих конструкций водоподводящих сооружений, обоснование основных требований, предъявляемых к эксплуатации существующих конструкций, способствующих уменьшению поступления донных и взвешенных наносов.

Результаты исследований. Имеющиеся научные работы по борьбе с наносами и плавниками на водоподводящих сооружениях насосных станций (НС) не учитывают связей между отдельными элементами. В Ташкентском государственном техническом университете В.А. Халматов, Х.К. Тошматов исследовали выбор способов регулирования подачи воды на ирригационных насосных станциях. Ими также были проанализированы критерии надежности управления блока насосной станции [7, 8].

В Ташкентском институте инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства (ТИИИМСХ) Д.Р. Базаров, Р.Р. Эргашев проводили исследование надежности насосных станций [1–3]. Опыт эксплуатации показал, что у большинства устройств по борьбе с наносами и плавниками в первые же дни эксплуатации нарушается герметичность элементов [10, 11].

Сотрудники Научно-исследовательского института ирригации и водных проблем (НИИИВП ТИИИМСХ) О.Я. Гловацкий,

Э.Ж. Махмудов показали, что разрабатываемые плавучие конструкции должны предотвращать попадание наносов и плавника в водоподводящие сооружения [7].

Бесплотинный водозабор устраивают в случаях, когда горизонты и расходы достаточны для самотечного питания магистрального канала.

При наличии перечисленных условий головное сооружение получает простые формы и конструкцию, располагаясь чаще всего под прямым углом на берегу реки у уреза воды (рис. 1).

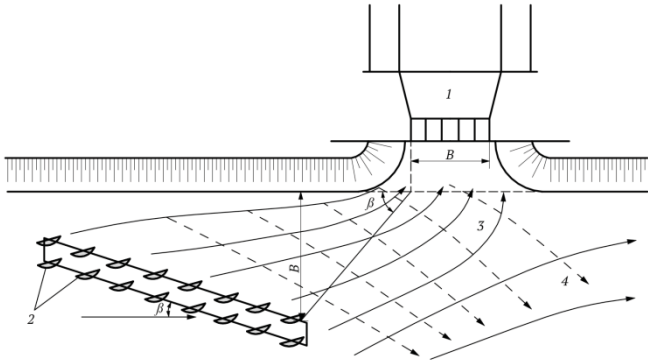


Рис. 1. Бесплотинный водозабор: 1 – головной шлюз; 2 – система плавучих понтонов

Водозабор с механическим подъемом воды называют также машинным водозабором. Орошаемая площадь непосредственно примыкает к источнику питания и расположена при этом значительно выше уровня воды [10].

Схема машинного водозабора, приведенная на рис. 2, осуществлена на насосной станции «Баяут». Пример водозабора с плавучей насосной станцией (НС) приведен на рис. 3.

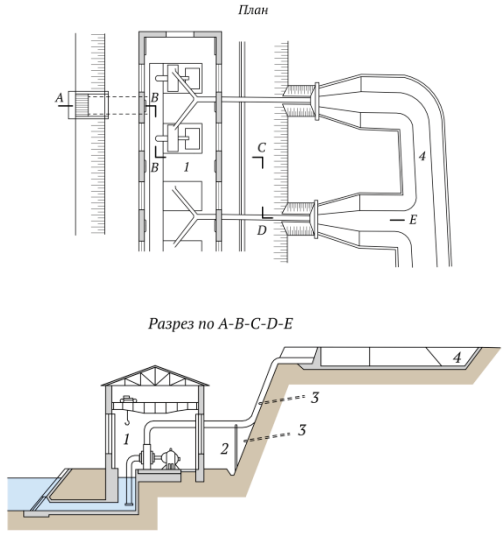


Рис. 2. Машинный водозабор с береговой насосной станцией: 1 – здание НС; 2 – опора напорного трубопровода; 3 – дренаж; 4 – напорный бассейн

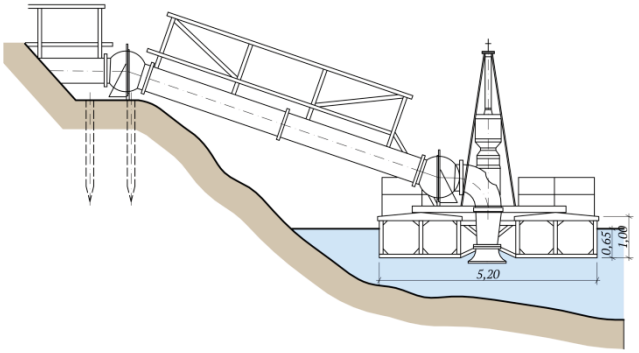


Рис. 3. Водозабор с плавучей насосной станцией

На основе исследований И.С. Громеки, Н.Е. Жуковского, М.В. Потапова в борьбе с захватом донных наносов в целях обеспечения бесперебойной работы водозабора исследованы компоновки бесплотинного водозабора по боковому отводу [10, 13] (рис. 4).

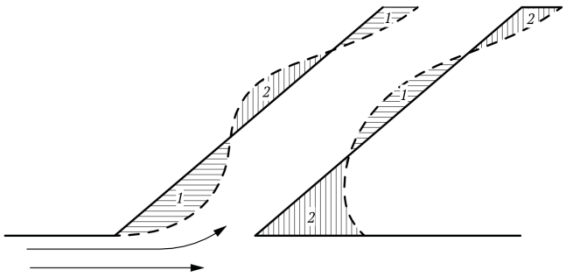


Рис. 4. Перемещение головы водозабора вниз по течению реки: 1 – заиление; 2 – размыв

В.А. Шаумян предлагает следующие формулы для ширины зоны захвата донных и поверхностных токов при изменении углов отвода от 30 до 90°:

$$b_{дон} = 1{,}15(k + 0{,}35)b; \qquad (1)$$

$$b_{пов} = 0{,}72(k + 0{,}07)b; \qquad (2)$$

где b – ширина отвода; k – отношение удельных расходов канала (отвода) и реки; $k = q_k/q_p$.

Ширина зоны захвата донных струй почти вдвое больше, чем поверхностных. Формулы (1) и (2) являются первым приближением к учету изменения структуры речного потока при водозаборе, в них явно не учитываются глубина реки и отвода, ширина реки, доли отвода расхода и др.

С целью уменьшения захвата донных наносов и нарушения структуры речного потока при водозаборе предлагалось отводить воду из реки под острым углом. Как показали лабораторные исследования, угол отвода (т.е. угол между стержнем реки и осью отвода) незначительно влияет на уменьшение ширины зон захвата донных и поверхностных струй реки [4, 14, 15].

Развивающаяся в реке при боковом отводе интенсивная поперечная циркуляция потока способствует взмучиванию наносов, переводу части придонных наносов во взвешенное состояние, вследствие чего мутность воды, входящей в канал-отвод, может оказаться больше, чем мутность речной воды на участках реки, расположенных выше водозабора.

Если отвод воды из реки осуществляется непосредственно каналом, то, как правило, скорость течения воды в нем меньше, а глубина не больше, чем в реке, вследствие чего транспортирующая способность канала уступает речной и канал начинает усиленно заиливаться в своем начальном участке, что снижает его пропускную способность на 50–70 %. В случае когда берега реки и канала сложены слабыми породами, они сильно деформируются потоком за входным по течению участком канала; образующимися водоворотами выбрасываются взвешенные и намываются донные наносы, создавая отмель; при этом противоположный берег канала интенсивно размывается.

Плавучие системы энергично воздействуют на структуру потока. Постановка перед водозаборным сооружением направляющих понтонов (или щитов) системы М.В. Потапова значительно уменьшает захват в канал донных наносов, устраняет водовороты при входе в канал и тем самым прекращает деформации и перемещение головы канала, улучшает условие входа воды в канал, направляя входные струи вдоль оси канала.

В паводок в канал поступают чрезмерно большие расходы воды повышенной мутности; при спаде паводка наносы, осаждаясь на головном участке канала, создают пробку. В меженный период может возникнуть ситуация, когда вода вследствие большого количества наносов не сможет поступать в канал, в связи с чем широкое распространение получил многоголовый бесплотинный водозабор (рис. 5).

Перед входом в каждый прокоп ставится система понтонов, защищающая от захвата каналом наносов.

Направляющие системы собирают из шарнирно соединенных звеньев, состоящих из металлических понтонов длиной по 3–8 м каждый; угол между хордой сегмента понтона и направлением течения принимают 18° для первого ряда понтонов и 25° для второго ряда (рис. 6).

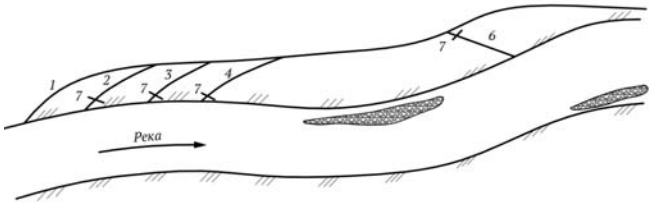


Рис. 5. Водозабор с системой голов: 1, 2, 3 и 4 – головы водозабора; 5 – канал; 6 – сброс. 7 – перемычки

$$B = (1{,}2/1{,}4)b, \qquad (3)$$

где b – ширина входа в шлюз.

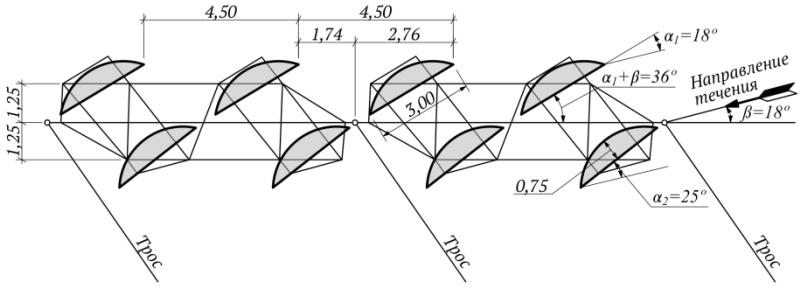


Рис. 6. Схема ферм и расположения понтонов струенаправляющей системы

Понтоны можно поворачивать вокруг вертикальной оси, проходящей через их центр тяжести.

В условиях рек Узбекистана (Сырдарьи и Амударьи) представляется возможность гидравлического смыва наносных отложений через промывной канал.

План головных шлюзов представлен на рис. 7. Здесь при трех прокопах один головной шлюз первой схемы заменен тремя парами открытых шлюзов А, В, С.

К недостаткам схемы относятся возможные затруднения со смывом наносов из прокопов во время высоких вод в реке, когда из-за больших потерь напора (0,5–0,7 м) УВ могут создавать подпор в прокопе и в сбросном канале.

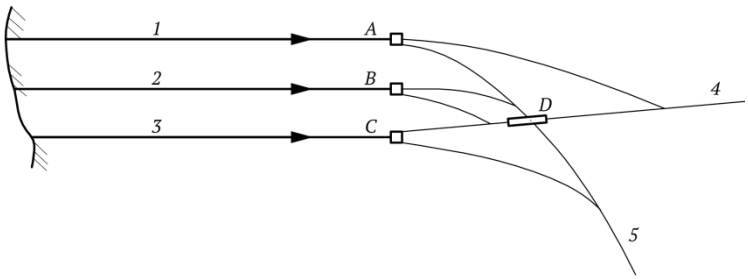


Рис. 7. Общий план гидроузла: 1, 2, 3 – отстойники; 4 – магистральный канал; 5 – промывной канал; А, В, С – головные шлюзы; D – дюкер

На этих же каналах применены плавучие конструкции типа запани (рис. 8).

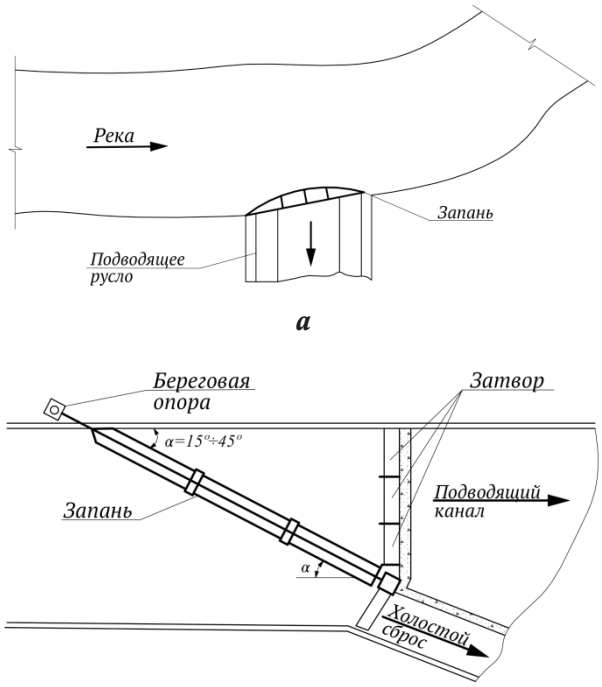


Рис. 8. Применение плавучих запаней на НС: а – на бесплотинном водозаборе; б – перед холостым сбросом под острым углом к потоку

В условиях Узбекистана особое внимание уделяется эксплуатации сорозащитных устройств. На практике борьба с сором оказывается одним из наиболее сложных и трудоемких эксплуатационных мероприятий на всех без исключения объектах водного хозяйства.

При заборе воды из поверхностных источников насосные станции оснащаются регулировочными и сорозащитными устройствами, которые могут располагаться на водозаборе по длине водоподводящих сооружений. В последние годы стали применяться новые плавучие устройства, в которых используются принципы автоматического регулирования и управления потоком.

На рис. 9 представлен водоток с водозаборным сооружением и запанью, вид сверху, разрез А-А и узел 1.

При взаимодействии с потоком воды запань оказывается под воздействием силы лобового сопротивления отбойных козырьков 2 и гидродинамической боковой силы, возникающей при обтекании потоком несимметричного, например, в виде крыла профиля лопаток 4.

Под действием результирующей этих двух сил запань отжимается от береговой опоры 6 и разворачивается под углом β = 40–70° к поперечной плоскости водотока 5 до положения, соответствующего равновесию действующих сил при данной кинематике потока.

В этом положении запань находится до момента изменения кинематики потока, например, снижение скорости потока в водотоке 5 вызывает уменьшение лобового сопротивления козырьков 2 и самих лопаток 4, в результате чего запань разворачивается навстречу потоку до положения, в котором равновесие действующих сил вновь восстанавливается [9, 12].

Аналогично, при увеличении скорости потока увеличивается лобовое сопротивление козырьков 2 и самих лопаток 4, в результате чего запань отклоняется по потоку до положения, в котором равновесие вновь восстанавливается. Таким образом, при всех изменениях кинематики потока в водотоке 5 и содержание плавающего мусора в нем запань автоматически поддерживает оптимальный для очистки угол наклона.

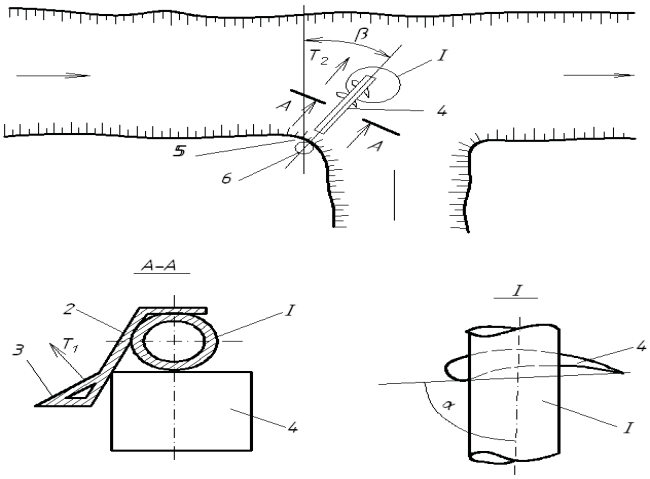


Рис. 9. Водоток с саморегулируемой запанью: 1 – поплавковые элементы; 2 – отбойный козырек; 3 – полка; 4 – лопатка; 5 – гибкая связь; 6 – береговая опора

Плавающий мусор и мальки рыб, находящиеся преимущественно в поверхностных слоях воды, достигнув отбойных козырьков 2, изменяют свое направление и сносятся мимо канала. Полки 3 в виде равнобедренного треугольника создает сжатие поверхностного потока, интенсифицируя составляющую потока, транспортирующую плавающий мусор вдоль запани.

Техническое решение плавучего устройства, выполненного в виде жесткой фермы (рис. 10, а) целесообразно использовать для защиты бесплотинных водозаборов различных машинных каналов.

По длине водоподводящих сооружений используется конструкция плавучей запани НИИИВП (рис. 10). Перед сбросом № 1 АБМК (Аму-Бухарский машинный канал) с 2013 г. функционирует запань из 14 секций длиной 6 м с диаметром поплавков 600 мм (головной), 300 мм (низовой) и высотой отбойного козырька 1,5 м.

В процессе экспериментов на модели было измерено гидродинамическое давление на запань, которое необходимо учитывать при расчете ферм, щитов, тросов и устройств для их крепления.

Понтоны должны обеспечить погружение щитов на 1,5–1,8 м. В качестве корпусов понтонов могут служить секции труб с диаметром 300–800 мм. При этом длина понтона должна составлять 6–8 м.

При кривизне русла подводящего канала возможна установка запани аналогичной конструкции на последней перед насосной станцией излучине (рис. 10, б).

В этом случае запань без нарушения судоходности усиливает естественную поперечную циркуляцию поверхностных, мусоронесущих слоев, направляя их в створ крайней секции сороудерживающей решетки. Такая комбинация запани и сороудерживающей решетки обеспечит эффективную очистку потока по всему сечению при одной работающей секции решеткоочистной машины.

Кинематические параметры различных типов сорозащитных устройств (СУС) приведены в таблице.

Плавучие запани проектируют в зависимости от следующих типов бесплотинных сооружений:

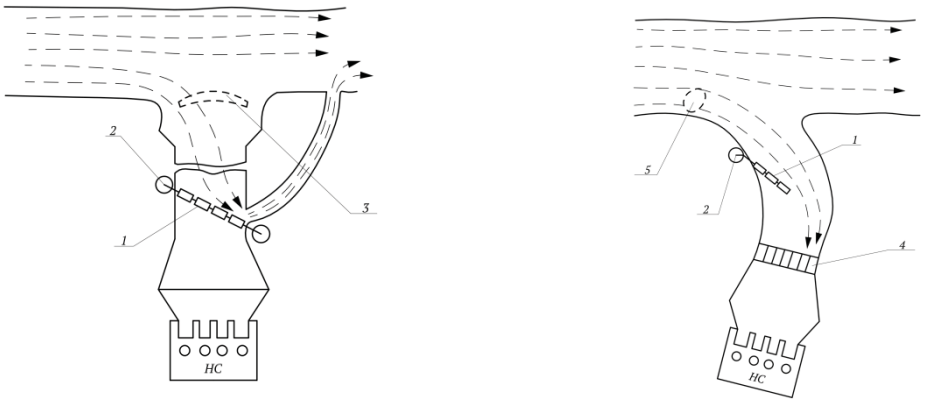
со стандартными береговыми оголовками;

со специальными водозаборными сооружениями (донные устройства для изменения структуры потока);

с оголовками, расположенными за пределами береговой линии (комбинированные рассекатели и наносозащитные устройства).

Следует отметить, что крупные подводящие каналы (Каршинский машинный канал (КМК) и Аму-Бухарский машинный канал (АБМК)) берут необходимый объем воды на участке среднего течения Амударьи [1–3].

Река Амударья транспортирует большое количество наносов, которые поступают в подводящие каналы. Авторами предложена принципиально новая конструкция, позволяющая значительно уменьшить поступление объема наносов (рис. 11).



а *б*

Рис. 10. Схема размещения комбинированных устройств на НС: 1 – запань; 2 – береговая опора; 3 – донный порог; 4 – сорозащитные устройства с решетками очистных механизмов; 5 – устройство для изменения структуры потока

Оптимальная скорость потока в створе защитных устройств, м/с

Защитные устройства водозаборных сооружений	Привязка сооружений	
	водоток	водоем
Решеткоочистная машина (РОМ) дискретного действия	0,25–0,40	0,40–0,55
непрерывного действия	0,35–0,50	0,50–0,75
Плавучее устройство	0,25–0,8	0,25–0,85
Контактные запани	0,70–0,95	0,8–1,0
Комбинированные устройства (запани, грейферы РОМ)	0,9–1,2	0,8–1,1

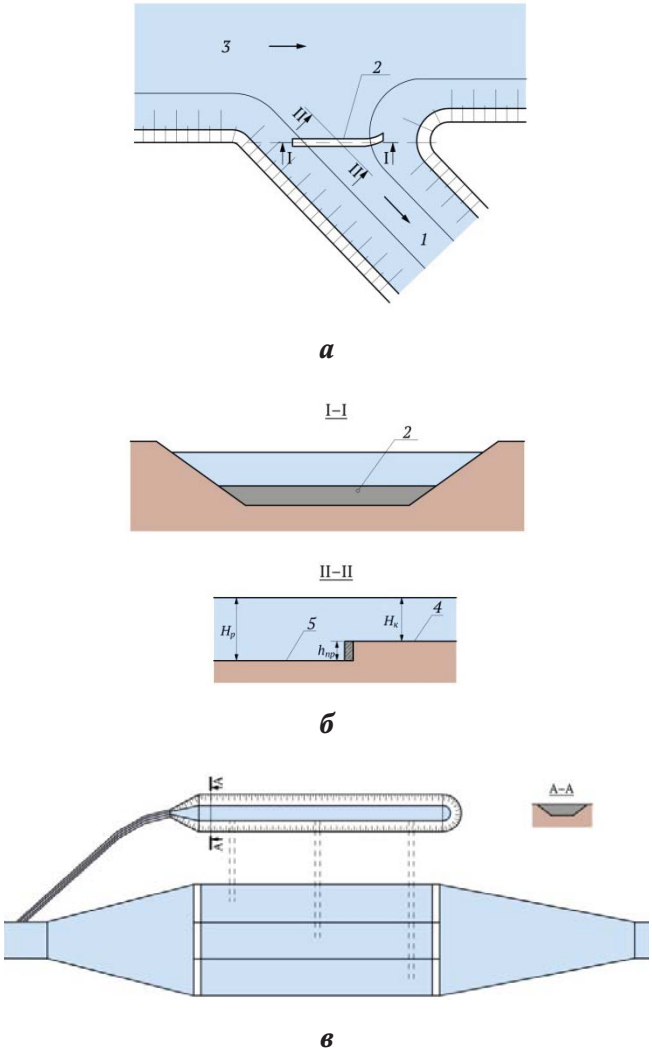


Рис. 11. Конструктивная схема порога и отстойника: а – схема водозабора; б – поперечное сечение и продольный профиль водозаборного канала; в – отстойник; 1 – магистральный канал; 2 – порог во входе; 3 – река; 4 – дно канала; 5 – дно реки; $H_р$ – глубина в реки поток; $H_к$ – глубина потока в водозаборном канале

В головной части подводящего сооружения рекомендуется устройство порога специальной конструкции, который позволяет предотвратить поступление донных наносов. Перед головным сооружениям подводящего канала предусмотрен отстойник для осаждения взвешенных наносов. Предлагаемая конструкция значительно уменьшит поступление количества наносов в аванкамеры насосных станций.

Заключение. В ходе исследования рассмотрены конструкции плавучих запаней, использованных при разработке плавучих конструкций для системы машинного водоподъема в Узбекистане. При этом уточнено назначение плавучих конструкций для всех типов водозаборных сооружений, выполнен гидравлический расчет головных регуляторов и плавучих растекателей, проведен анализ формы поверхности раздела при плотностном течении в водоподводящих сооружениях, определены динамические усилия на отбойные щиты плавучих конструкций, а также вертикальная составляющая скорости в течениях вдоль плавучего сооружения.

Анализ применения различных типов водозаборов и водоподводящих сооружений систем машинного водоподъема учтен при обосновании расчета семейства плавучих конструкций. Уточнено назначение плавучих конструкций для всех типов водозаборных сооружений, выполнен гидравлический расчет головных регуляторов и плавучих растекателей. Рекомендована принципиально новая схема конструктивных элементов подводящего канала, способствующая уменьшению поступления как донных, так и взвешенных наносов в основное русло подводящего канала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Базаров Д.Р.* Совершенствование методов расчета русловых деформаций рек, сложенных легкоразмываемыми грунта: дис. ... д-ра техн. наук. – М., 1999. – С. 110–120.

2. *Базаров Д.Р., Гловацкий О.Я., Артыкбекова Ф.К.* Исследование взаимосвязи гидравлических параметров подводящего канала и режима эксплуатации агрегатов насосной станции // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Ташкент, 2018. Т. 1. – С. 111–117.

3. *Базаров Д.Р., Муаллем Н., Нишанбаев Х.А.* Влияние двойного регулирования стока на морфометрические и гидравлические параметры русла реки Амударья // Аграрная наука. – 2018. – № 11–12. – С. 70–78.

4. *Базаров Д.Р., Хидиров С.К, Каххаров У.А.* Проблемы эксплуатации защитных сооружений реки Амударьи // Безопасность энергетических сооружений. – 2015. – Вып. № 2(20). – С. 37–42.

5. *Виссарионов В.И., Кукушкин В.А.* Исследования переходных процессов в водопроводящем тракте насосных станций // Автоматизация закрытых оросительных систем. – Новочеркасск, 1995.

6. *Вишневский К.П.* Использование ЭВМ для расчета переходных процессов (в закрытых оросительных системах) // Гидротехника и мелиорация. – 1978. – № 9. – С. 69–70.

7. *Гловацкий О.Я.* Совершенствование мелиоративных насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 1. – С. 23–25.

8. *Гловацкий О.Я., Эргашев Р.Р.* Разработка новых критериев качества перекачиваемой воды

на системах машинного водоподъема // Журнал Агро-Илм. – 2008. С. 112–115.

9. *Кловский А.В.* Сравнительный анализ эффективности работы фронтальных донных циркуляционных порогов постоянной и переменной высоты // Природообустройство. – 2014. – № 4. – С. 37–42.

10. *Рычагов В.В., Третьяков А.А.* Пособие по проектированию насосных станций и испытанию насосных установок. – М.: Сельхозгиз, 1983. – 351 с.

11. *Румянцев И.С., Кловский А.В.* Научный обзор изученности вопросов проектирования и безнаносной эксплуатации бесплотинных водозаборных гидроузлов // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 2. – С. 101–106.

12. Строительство водозаборных сооружений из частично пересыхающих водотоков / Е.В. Орлов [и др.] // Вестник МГСУ. – 2015. – № 2. – Режим доступа: http://vestnikmgsu.ru/ru.

13. *Фазылов А.Р.* Влияние призмы наносов на параметры оболочки мягкого отстойника // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1–2. – С. 140–149.

14. *Фазылов А.Р., Саидов И.И.* Обеспечение гидроэкологической безопасности через совершенствование способов и средств борьбы с наносами в горно-предгорной зоне Таджикистана // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2014. – Т. 14. – № 7. – С. 124–128.

15. *Фазылов А.Р.* Влияние призмы наносов на параметры оболочки мягкого отстойника // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1–2. – С. 140–149.

Базаров Дильшод Райимович, *д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Использование водной энергии и насосных станций», Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. Узбекистан.*

Норкулов Бехзод Эшмирзаевич, *докторант кафедры «Использование водной энергии и насосных станций», Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. Узбекистан.*

100000, г. Ташкент, ул. Кары Ниезий, 39.
Тел.: +998712371957.

Маркова Ирина Михайловна, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Гидравлика и гидротехническое строительство», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.*

Ермилов Михаил, *студент, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия.*

129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26.
Тел.: (495) 781-80-07.

Таджиева Дурдона Облакуловна, *стажер-преподаватель, Самаркандский государственный архитектурный строительный институт. Узбекистан.*

140140, г. Самарканд, ул. Лолазор, 70.
Тел.: +988662371593.

Ключевые слова: *плавучая конструкция; насосная станция; водопроводящие сооружения; эксплуатация; гидродинамика; характеристика; наносы; порог; сороудерживание; отстойник.*

ABOUT CONSTRUCTIONS FOR THE PROTECTION OF WATER SUPPLY CHANNELS FROM SEDIMENT LOAD AND DRIFTWOOD

Bazarov Dilshod Raimovich, *Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Use of Water Energy and Pumping Stations", Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers. Uzbekistan.*

Norkulov Bekhzod Eshmirzaevich, *Candidate for a Doctor's Degree of the chair "Use of Water Energy and Pumping Stations", Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers. Uzbekistan.*

Markova Irina Mikhailovna, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Hydraulics and Hydrotechnical Engineering", Moscow State University of Civil Engineering. Russia.*

Ermilov Mikhail, *Student, Moscow State University of Civil Engineering. Russia.*

Tadjieva Durdona Oblakulovna, *Trainee Teacher, Samarkand State Architecture and Civil Engineering Institute. Uzbekistan.*

Keywords: *floating structure; pumping station; water conveyance facilities; operation; hydrodynamics; silt ; sediment separator.*

The article shows the results of the analytical review of the main floating structures used in the water supply channels. It is noted that there are two classes of floating constructions: active - affecting the flow regime and changing its structure in the selected direction (floating regulators, jetting devices for changing the flow structure); passive - eliminating the adverse effect of flow ingredients on the elements of the hydraulic unit of the pumping station, without changing its structure and parameters (debris deflector, aero curtain). The basic requirements for the design of floating devices are formulated: reduction of hydraulic losses (streamlining of pontoons and fenders) increase of stability, durability, maneuverability of conditions for installation on water ensuring the water tightness of hermetic compartments, the possibility of balancing and repair, increasing functional reliability and efficiency. A fundamentally new design of the structural elements of the water supply channel has been proposed to help reduce the flow of both bottom and suspended sediments to the mainstream of the water supply channel.