DOI: 10.15593/2224-9826/2015.2.15

УДК 628.113.83

М.А. Авдеева, Я.С. Луферчик, О.И. Ручкина

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

АНАЛИЗ МЕРОПРИЯТИЙ ПО БОРЬБЕ С ШУГОЙ

Требования надежности и эффективности работы водозаборов становятся все актуальнее в наше время, особенно в зимний период, так как он характеризуется минимумом воды в источнике водоснабжения и сложными гидрологическими условиями. Одной из самых серьезных проблем, которые возникают в этот период, является обрастание элементов водозаборов шугой и донным льдом. Эти рыхлые скопления льда серьезно мешают нормальной работе водозаборных сооружений и даже могут полностью вывести их из строя, что ведет к прекращению приема воды из источника и другим более серьезным последствиям. Полностью предотвратить влияние шуги на водозаборы не удастся, поэтому важно проводить мероприятия, которые предотвращают попадание льда на элементы водозабора. Поскольку водозаборные сооружения являются наиболее уязвимой частью системы водоснабжения городов, то анализ и оценка методов по борьбе с шугой является актуальной задачей. Целью исследования в данной статье являлся анализ методов борьбы с шугой. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: аналитический обзор процессов образования шуги и существующих мероприятий по борьбе с шугой. Рассмотрены две группы мероприятий по борьбе с шугой: мероприятия по устранению шуги непосредственно у водоприемных окон и мероприятия, направленные на ранний ледостав. Представлена классификация, основанная на делении групп мероприятий по признаку устранения шуголедовых помех непосредственно у водоприемных окон или на акватории водного объекта и предложена классификация в зависимости от количества шуги и производительности водозабора. В ходе анализа установлено, что для обеспечения надежной работы водозаборов рекомендуется совместное применение нескольких способов защиты от шуги.

Ключевые слова: шуга, мероприятия по борьбе с шугой, ковшевые водозаборы, водоприемные оголовки, водозаборы.

M.A. Avdeeva, Ia.S. Luferchik, O.I. Ruchkinova

Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russian Federation

THE ANALYSIS OF METHODS OF FIGHT AGAINST SLUDGE ICE

Requirements of reliability and overall performance of water intakes become more actual presently, especially during the winter period as it is characterized by a water minimum in a source of water supply and difficult hydrological conditions. One of the most serious problems which arise during this period is the fouling of water intake elements with sludge ice and ground ice. These friable congestions of ice seriously disturb the normal work of water intaking constructions and can even

completely put them out of action that will lead to the cancelation of water intake from a source and to other more serious consequences. It isn't possible to prevent the influence of sludge ice on water intakes completely therefore it is important to hold events which prevent ice insertion in water intake elements. Water intaking constructions are the most vulnerable part of water supply system of the cities therefore the analysis and an assessment of methods controlling the sludge ice is an actual task. The objective of this research is the analysis of methods to control the sludge ice. In order to achieve the goal the following tasks were solved: the analytical review of formation processes of sludge ice and the existing actions of managing the sludge ice were considered. There are two groups of actions controlling the sludge ice: elimination of sludge ice directly at water reception windows and the actions directed on an early freeze-up. Also the classification based on a groups of actions division for elimination of the hindrances of sludge ice directly at water reception windows or on the water area of water object is presented and, classification depending on the amount of sludge ice and productivity of a water intake is offered. During the analysis it was discovered that to ensure reliability of water intakes performance combined use of several ways of protection against the sludge ice is recommended.

Keywords: sludge ice, methods of fight against sludge ice, bucket water scoop, water receiving cap, water intakes.

Водозаборы являются одними из основных сооружений в системах водоснабжения. Требования надежности и эффективности работы водозаборов становятся особенно актуальными в зимний период, так как он характеризуется минимумом воды в источнике водоснабжения и сложными гидрологическими условиями. В этот период отбор воды из источника может снизиться ниже допустимых пределов или прекратиться полностью вследствие закупорки водоприемных отверстий водозабора шугой и внутриводным льдом¹⁷. Полностью предотвратить влияние шуги на водозаборы не удастся. Так, например, в ноябре 2013 г. из-за засора шугой всасывающих коллекторов водозабора были зарегистрированы перебои с водой в г. Ревде Тюменской области на Метелевской водочистой станции при заборе воды из р. Туры, в Свердловской области на водозаборе от Волчанского водохранилища¹⁸.

Поскольку водозаборные сооружения являются наиболее уязвимой частью системы водоснабжения городов, то анализ и оценка методов по борьбе с шугой является актуальной задачей.

Водозаборные сооружения отличаются по конструкции, производительности, а место их расположения характеризуется различными гидрологическими условиями, малым или большим количеством шуги в реке в зимний период. Поэтому выбор наиболее эффективного способа защиты от шуги будет зависеть от указанных факторов.

¹⁷ Сайт SmartArchitect – гид по архитектуре. URL: <http://www.smartarchitect.ru>.

¹⁸ Сайт Шуга/Теги/Актуально.py. URL: <http://aktualno.ru>.

Целью исследования являлся анализ методов борьбы с шугой.

Для достижения поставленной цели были решены задачи: аналитический обзор процессов образования шуги и существующих мероприятий по борьбе с шугой, классификация мероприятий.

1. Образование шуги

Скорость воды в реке препятствует образованию льда. Поэтому при отрицательных температурах воздуха до образования ледостава осенью и после вскрытия льда весной вода переохлаждается, и ее температура вследствие турбулентности потока может стать отрицательной. Это вызывает образование внутриводного льда – шуги, которая представляет собой беспорядочно движущиеся в воде кристаллы льда. В зависимости от количества образовавшейся шуги она может частично или полностью заполнять сечение русла реки, затрудняя водозабор (рис. 1)¹⁹.

Рис. 1. Образование шуги на реке

При малоподвижной воде (скорости до 0,5 м/с) с установлением отрицательных среднесуточных температур воздуха температура воды быстро снижается на поверхности до нуля (самая плотная и теплая вода при +4 °С – на дне). Дальнейшее похолодание приводит к тому, что поверхностный слой воды переохлаждается до –1,4 °С. При попадании из атмосферы затравок (снежинок, пылинок) на них и на взвешанных веществах в воде возникают кристаллы льда. Они смерзаются и обра-

¹⁹ Сайт-архив. URL: <http://www.zavantag.com>.

зуют плавающие ледяные пленки. Последние постепенно смерзаются и дают начало ледяному покрову, который со временем утолщается.

В подвижной воде (при скоростях свыше 0,5 м/с и при ветре) за счет турбулентного перемешивания кристаллы льда и переохлажденные пленки (внутриводный лед) увлекаются в толщу потока и спускаются до дна. Там они примерзают к поверхностям выступающих переохлажденных элементов дна и становятся затравкой для дальнейшего роста кристаллов – образуется донный лед. Из-за притока тепла от пород русла донный лед оттаивает, отрывается и всплывает, образуя с внутриводным льдом шугу. Вместе с кристаллами льда может флотировать песок, гравий и даже камни. Донный лед образуется в холодное ночное время, а днем всплывает и образует во второй половине дня шугоход.

Шуга, двигаясь с течением реки, попадает к водозаборам. При этом ледяная взвесь обволакивает водоприемные сооружения, намерзает на прутья решеток и под действием возникающего перепада уровней воды резко уплотняется, создает ледяной щит, что приводит к прекращению приема воды. Следует иметь в виду, что кристаллические и гидрофильные вещества обмерзают быстрее. Ледяная взвесь без песка легкая и плавает в верхних потоках. Но шуга, содержащая песок, может перемещаться по всей толще²⁰.

2. Обзор мероприятий по борьбе с шугой

Главным мероприятием на этапе проектирования водозабора является правильный выбор местоположения, типа и конструкции водозабора. Водозаборные сооружения необходимо располагать на прямых участках русла реки, где поток не зажат какими-либо препятствиями и вода движется спокойно (без турбулентных вихрей) и с малой скоростью. Малые скорости воды и спокойное ее течение способствуют всплытию шуги; и наоборот, большая скорость и турбулизация потока воды приводят к тому, что шуга находится во всем потоке. Если в месте водозабора таких участков русла реки нет, то может быть целесообразным строительство водозаборного ковша, который как раз и обеспечивает спрямление потока и малые скорости воды²¹. При необходимости расположения водозабора в заданном месте реки

²⁰ Сайт-архив. URL: <http://www.zavantag.com>.

²¹ Сайт «Инженерная энциклопедия». URL: <http://www.engineeringsystems.ru>.

со значительной кривизной русла может быть применено выпрямление русла реки за счет проведения комплекса гидротехнических мероприятий.

В соответствии с СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» для борьбы с оледенением и закупоркой шугой водоприемников в тяжелых шуголедовых условиях следует предусматривать электрообогрев решеток, подвод к водоприемным отверстиям теплой воды либо сжатого воздуха или импульсную промывку в сочетании с обратной. Стержни сороудерживающих решеток должны быть изготовлены из гидрофобных материалов или покрыты ими. Для удаления шуги из береговых водоприемных колодцев и сеточных камер должны предусматриваться соответствующие приспособления.

Фактически выбор методов и средств борьбы с шугой на водозаборах значительно шире мероприятий, предусмотренных СП 31.13330.2012. Рассмотрим основные методы борьбы с шугой, область их применения, достоинства и недостатки.

Методы борьбы с шугой условно можно разделить на две группы. Первую группу составляют методы, направленные на устранение шуголедовых помех непосредственно у водоприемных окон. Ко второй группе относятся методы и средства, направленные на обеспечение раннего (с момента устойчивого похолодания) ледостава и предотвращение за счет этого проникания шуги в акваторию водоприемных устройств.

2.1. Мероприятия по устранению шуги непосредственно у водоприемных окон

Обеспечение малых скоростей поступления воды в водоприемное отверстие водозабора

Известно, что чем больше шуги в воде, тем меньше должна быть скорость поступления воды в водоприемник. СП 31.13330.2012 рекомендует при тяжелых шуголедовых условиях скорости втекания воды в водоприемные отверстия 0,06 м/с. При этом шуга движется по природному течению, не нахватываясь водозабором. Такие малые скорости воды приводят к существенному увеличению размеров водоприемных отверстий. Увеличивается количество окон в оголовках русловых водозаборов либо их размеры в русловых водозаборах. Это мероприятие является достаточно эффективным для водозаборов малой и средней производительности при малом количестве шуги. На водозаборах

большой производительности увеличение размеров водоприемных окон может повлечь существенное увеличение общих размеров водоприемных сооружений и, как следствие, значительное увеличение их стоимости. Учитывая то, что шуговые явления могут наблюдаться максимум до 15 дней в году и не каждый год, такое вложение финансовых средств нельзя признать эффективным²².

Если при проектировании водозабора и назначении максимальной скорости втекания воды в водоприемные отверстия шуголедовые условия не были учтены в полной мере, то существует возможность искусственного снижения скорости. Снижение скорости достигается уменьшением производительности водозабора путем периодического выключения из работы одного насосного агрегата. Безусловно, данный способ не отвечает требованиям бесперебойности водоснабжения и применим лишь как крайняя мера предотвращения полной остановки водозабора.

***Установка на дне водотока перед фронтом
водозабора перфорированных труб и подача
в них сжатого воздуха (пневмозащита)***

На водозаборах сжатый воздух может использоваться для создания перед входом в водоприемник водовоздушной завесы, способствующей отгону от водоприемника шугольда.

Водовоздушные завесы для борьбы с шугой на оголовках были испытаны на водозаборах Тюмени (р. Тура), Павлодара (р. Иртыш), водозаборах из Оки в Рязани и Горьком и из Оби в Барнауле и Новосибирске и др. Воздух от компрессора подводится с берега к оголовку по трубопроводу или по шлангу и выходит через дырчатую трубу в виде сплошной завесы. Труба закреплялась у нижней грани водоприемных окон под углом к речному потоку. Применение данного способа позволило значительно сократить число обратных промывок [1].

Водовоздушные завесы для борьбы с шугой, *ограждающей акваторию водоприемника*, еще более эффективны. Для создания завесы по дну реки на некотором удалении от водоприемных сооружений укладывают перфорированные воздухопроводы диаметром 50–100 мм с отверстиями 2–4 мм и с шагом примерно 25 см (рис. 2). Конструктивные и технологические параметры системы пневмозащиты принимаются на основе соответствующих расчетов. Сжатый воздух, выходя

²² Сайт-архив. URL: <http://www.zavantag.com>.

из перфорированных труб, создает зону восходящих потоков, которые выносят шуголедовые массы на поверхность воды, предотвращая их вовлечение в водоприемные окна. При этом вертикальная составляющая скорости потока в реке (U) должна быть больше ее горизонтальной составляющей (v_a) и должно выполняться соотношение $U > Kv_a$ (где K – опытный коэффициент, зависящий от скорости и ледонасыщенности потока) [1].

Согласно натурным наблюдениям на Оке, при средней скорости течения $u_a = 0,5$ м/с и глубине потока $H = 3,5$ м хороший эффект шугозащиты достигается при расходе воздуха $q_B = 1$ (м³/мин) на 1 м, при этом $K = 1,54$. На границе зоны распространения водовоздушных потоков смерзшиеся массы шуги легко разрушаются и отклоняются при движении в стороны от водоприемника [1].

Рис. 2. Водоприемный оголовок с системой пневмозащиты от шуголедового воздействия [5]: 1 – воздуховоды перфорированные; 2 – понтон из стальных труб; 3 – самотечная галерея; 4, 5 – водоприемный оголовок

Применение этого способа даже на крупных водозаборах (значение Q_B до 14 м³/с) обеспечивает бесперебойную работу водоприемных устройств.

Монтаж системы пневмозащиты не представляет особой сложности, не требует остановки водозаборов и не препятствует судоходству. Благодаря этому способ пневмозащиты широко применим не только на вновь проектируемых, но и на действующих водозаборах небольшой производительности с малым и средним количеством шуги.

Сброс теплой воды выше водозабора по течению реки

Одним из эффективных мероприятий по борьбе с шугой является подогрев воды, поступающей в водоприемник, путем сброса в реку выше по течению от водозабора или перед самым водозабором горячей воды.

В системах водоснабжения ТЭЦ и ГРЭС может быть устроен сброс горячей воды у водозабора или предусмотрено наличие в районе водозабора котельной с большой резервной мощностью.

Конструктивно подвод воды можно осуществить в виде сосредоточенного или рассредоточенного сброса теплой воды выше водозабора или путем непосредственного подвода воды к водоприемным окнам трубами (более надежно и эффективно). Решения по сбросу теплой воды в реку выше водозабора должны обеспечивать преобладающее направление струй теплой воды непосредственно к водозабору.

Обогрев элементов и решеток в окнах водоприемника

Обогрев должен осуществляться заблаговременно, до начала переохлаждения воды. Несмотря на то, что воду или стержни решеток необходимо нагреть всего на $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше нуля, эти мероприятия чрезвычайно энергоемки. На время шугохода опускаются решетки-реостаты с электропроводящими прутьями, которые подогреваются электротоком до $0,01\text{--}0,02\text{ }^{\circ}\text{C}$, и обмерзание не происходит. Например, мощность, которую необходимо затратить для электрообогрева стержней решеток – $3\text{--}8\text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ воды, что для водозабора средней производительности 20 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ составляет $60\text{--}160\text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}/\text{сут}$. В улучшенном варианте используются решетки с индукционным обогревом – ток пропускается непосредственно по стержням или, если последние представляют собой трубки, обогрев их производят, закладывая внутрь электрическую грелку или пропуская по трубам нагретый теплоноситель (воду, трансформаторное масло).

Обогрев решеток производится с помощью горячей воды и пара, которые могут циркулировать по полым стержням или же выпускаться через отверстия перед входными окнами. При этом пар можно получать от передвижных парогенераторов. Поскольку оголовки русловых водозаборов малодоступны в зимнее время, для них электрообогрев решеток не применяется. В этом случае русловые водозаборы должны иметь надежные промывные устройства, позволяющие в любое время освободить оголовки, решетки, сифонные или самотечные линии от шуги.

Обогрев не может предохранить решетку от механической забивки комьями шуги и поверхностным льдом. Для исключения образования на стержнях решетки поверхностного льда ее полностью погру-

жают в воду или утепляют выступающую из воды часть решетки так, чтобы ее температура была не ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ²³.

Способы подогрева массы воды и водоприемных решеток эффективны при среднем количестве шуги в реке для водозаборов средней и большой производительности.

Применение специальных фильтрующих водоприемных оголовков

Применяются деревянные ряжевые, железобетонные оголовки, объемные фильтрующие кассеты из фильтрующих пластмассовых труб.

Ряжевые оголовки изготавливаются в виде сруба из бревен на берегу со смонтированными раструбами и концами самотечных линий. Такая плавучая конструкция буксиром транспортируется к месту установки и затапливается с пригрузом камнями. Используется на реках с небольшими глубинами, средними природными условиями при небольшой (до $1\text{ м}^3/\text{с}$) производительности водозабора (рис. 3).

Рис. 3. Деревянный ряжевый оголовок с боковым приемом воды:
1 – сороудерживающие решетки; 2 – водоприемный раструб; 3 –
каменная наброска; 4 – ряж; 5 – самотечные или сифонные водоводы

Достоинства: простой, недорогой.

Недостатки: трудоемкий в изготовлении, неиндустриальный, труднодоступный для осмотра и замены сороудерживающих решеток, требуют устройства рыбозаградителей.

²³ Сайт-архив. URL: <http://www.zavantag.com>.

Ряжевый оголовок может быть устроен без раструбов, с фильтрующей засыпкой из гравия или щебня в полости сруба. Такой оголовок частично осветляет воду и обеспечивает рыбозащиту. Прием воды осуществляется передним фронтом сооружения, который может иметь большую площадь и обеспечивать среднюю производительность водозабора. Применяется на небольших реках с тяжелыми шуголедовыми условиями при небольшой (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$) производительности водозабора (рис. 4).

Рис. 4. Деревянный ряжевый фильтрующий оголовок:
1 – ряж; 2 – самотечные или сифонные водоводы;
3 – каменная наброска

Достоинства: простой, недорогой, не требует устройств рыбозаградителей.

Недостатки: трудоемкий в изготовлении, неиндустриальный, труднодоступный, подвержен засорению и заилению.

Железобетонный оголовок устраивается в виде железобетонной скорлупы на берегу, оснащается раструбами, транспортируется в русло, затапливается в проектное место и утяжеляется каменной наброской. Получившаяся конструкция стойка к ударам, обтекаема потоками воды. Находит широкое применение на практике. Используется на небольших лесосплавных реках с легкими и средними природными условиями при небольшой (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$) производительности водозаборов (рис. 5), а также на лесосплавных реках с тяжелыми шуголедовыми условиями или средней производительности (от 1 до $3 \text{ м}^3/\text{с}$) водозабора (рис. 6).

Рис. 5. Железобетонный раструбный защищенный оголовок с боковым приемом воды: 1 – сороудерживающая решетка; 2 – раструб; 3 – железобетонный корпус оголовка; 4 – самотечный или сифонный водовод; 5 – крепление русла камнем; 6 – загрузка галечником, щебнем или тощим бетоном

Рис. 6. Железобетонный двухсекционный защищенный оголовок: 1 – водоприемные отверстия; 2 – самотечные или сифонные водоводы; 3 – железобетонное днище и стенки оголовка; 4 – водоприемные раструбы; 5 – соединительные фланцы; 6 – смотровые люки; 7 – заглушки; водоприемная камера

Достоинства: надежно защищает концы самотечных или сифонных водоводов, позволяет забирать воду с небольшими входными скоростями, может выполняться промышленным способом.

Недостатки: громоздкий и тяжелый в монтаже, требует установки рыбозаградителей, труднодоступен.

Достоинства: хорошо обтекаемая форма, малые входные скорости, что дает возможность забирать воду из сильно шугоносных рек, хорошо промывается.

Недостатки: сложный в монтаже, дорогостоящий, труднодоступный, требует установки рыбозаградителей.

Известно, что дерево обмерзает хуже, чем стальные и бетонные элементы, поэтому лучше использовать деревянные ряжевые фильтрующие водоприемные оголовки²⁴.

Развитие фильтрующих водоприемных оголовков происходило в направлении усовершенствования конструкции фильтров и применения новых современных фильтрующих материалов.

Фильтры стали выполнять в виде заключенных в решетчатую или сетчатую обойму блоков (кассет), которые можно монтировать и демонтировать без остановки водозабора. Благодаря этому появилась возможность отказаться от плохо промываемой фильтрующей обсыпки оголовков и сделать фильтр конструктивной частью оголовка. Тем самым обеспечена возможность надежной регенерации фильтрующей загрузки и, следовательно, повышения водоочистного эффекта. Применение связующих материалов, например эпоксидных смол, позволяет отказаться от обойм и делать фильтры в виде жестких водопроницаемых плит, дополнительно облегчив их изготовление и монтаж. Применение искусственных фильтрующих материалов позволяет еще более усовершенствовать фильтрующие водоприемники и повысить их водоочистную способность [2].

Разработано устройство для забора воды из поверхностных источников, предназначенное для защиты от шуги. Устройство содержит объемную фильтрующую кассету, на внутренней стороне которой в пазах плотно установлены пластмассовые фильтрующие трубы, скрепленные между собой гидроизоляционным материалом. Технический результат достигается путем снижения стоимости кассеты и эксплуатационных затрат за счет более эффективной обратной промывки и обратной импульсной промывки, а также поддержании высоких фильтрационных скоростей [3].

Промывка решеток обратным током, или импульсная промывка

Наиболее распространенным способом является обратная промывка сороудерживающих решеток. Длительное применение этого способа на водозаборах Кемерово, Омска, Барнаула, Томска и других городов показало, что он не всегда дает нужный эффект. Кроме того, при интенсивном шугоходе периодичность обратной промывки достигает иногда 2–3 ч,

²⁴ Сайт-архив. URL: <http://www.zavantag.com>.

в результате чего возрастает расход воды на собственные нужды водопроводов, что сопровождается значительным снижением подачи ее потребителям. Эффективность обратной промывки может быть повышена за счет создания импульсных токов воды в самотечных линиях. Для импульсной промывки достаточно установить в береговом колодце, на концах самотечных линий, стояки того же диаметра, что и самотечные линии, и присоединить их к вакуум-насосу [3].

Метод эффективен при небольших количествах и коротких сроках образования шуги. Используется этот метод в русловом типе водозаборов небольшой и средней производительности.

Применение решеток для водоприемных отверстий из гидрофобных материалов

В таких решетках все металлические поверхности покрываются пластмассой, резиной, битумом, эбонитом, каучуком, полиэтиленом или жидким стеклом. Это предотвращает прилипание (примораживание) кристаллов льда к металлу. Метод эффективен при небольших количествах шуги при небольшой и средней производительности водозаборов.

2.2. Мероприятия, направленные на ранний ледостав

Анализ используемых средств борьбы с шугой в непосредственной близости от водоприемных окон и опыта их применения показывает, что эти средства не обеспечивают требуемой бесперебойности водоснабжения. Это заставляет отдавать предпочтение способам борьбы *на дальних подступах* к водозаборам. Эта задача успешно решается за счет раннего ледостава в акватории расположения водоприемников.

Устройство ковшевых водозаборов

Известно, что ранний ледостав надежно обеспечен на ковшовых водозаборах. Ковшовой водозабор – это специальный водоподводящий канал, который гарантирует надежную защиту водозабора от шуги. Акватория ковшей на 2–3 дня раньше речного потока покрывается ледяным покровом. Поступающая в ковш переохлажденная вода с шугой теряет переохлаждение и смерзается с покровом. Более раннее образование ледового покрова в ковше препятствует переохлаждению воды в самом ковше. Это самое кардинальное решение, но и самое дорогостоящее, целесообразное для водозаборов большой производительности (рис. 7).

Рис. 7. Водозаборные сооружения ковшового типа: *а* – с наносной шпорой; *б* – с самопромываемым входом; 1 – наносозащитная шпора; 2 – совмещенный водозабор берегового типа с насосной станцией; 3 – низовая дамба незатопляемая; 4 – верховая дамба, затопляемая в половодья; 5 – регулятор

Водоприемные ковши с наносной шпорой (рис. 7, *а*) применяют на реках, для которых не характерны образование шугозажоров или особо тяжелые условия весеннего ледохода.

Водоприемные ковши с самопромываемым входом (рис. 7, *б*) предназначены для поддержания у входа увеличенной глубины воды. Верховая дамба затопляется в периоды половодья, а низовая дамба не затопляется, при этом аналогично формируются винтовые потоки воды, которые размывают отложение наносов [4].

Изменение динамического состояния потока путем устройства непосредственно у водозабора струенаправляющих дамб и сооружений

Струенаправляющие дамбы – инженерные сооружения в виде укрепленной непереливаемой насыпи для придания потоку воды заданного режима и направления, например, для обеспечения плавного подхода воды к входным окнам водозабора. Эти сооружения формируют речной поток так, что в нем создается достаточно равномерное распределение относительно невысоких скоростей воды.

Струенаправляющие дамбы по своему очертанию в плане могут быть криволинейными, криволинейными с прямой вставкой, прямолинейными и грушевидными, а по расположению относительно русла реки делятся на продольные (рис. 8), поперечные и комбинированные.

Струенаправляющая дамба успокаивает поток на подходе к водоприемным отверстиям, вследствие чего шуга всплывает и смерзается.

Применение струенаправляющих дамб эффективно при малом и среднем количестве шуги для водозаборов средней производительности.

Рис. 8. Продольная струенаправляющая дамба:
1 – продольная струенаправляющая дамба

Устройство шугоотбойных запаней и шпор

Запань – инженерное заградительное сооружение в естественной или искусственной акватории, представляющее собой огражденную плавающими конструкциями (сооружаемыми обычно из бревен или деревянных ферм, связанных шарнирами) водную поверхность и используемое для временного или окончательного задержания, придания нужного направления движения, хранения, сортировки твердых плавающих объектов (леса, льда, мусора и др.) в определенном месте водотока (рис. 9).

Рис. 9. Устройство шугозащитной плавучей дамбы
на Окском водозаборе [9]

В начале периода ледообразования, когда шуга находится на поверхности потока, она улавливается запанью и быстро смерзается, образуя сплошной ледяной покров.

Дополнительное ускорение ледостава в ковшах достигается установкой шугоотбойных запаней. Запань, установленная непосредственно на входе в ковш, не исключает подсос шуги в него. Намерзая при этом на нижней поверхности льда в начале ковша, шуга стесняет поток и может повлечь резкий спад уровня воды у водоприемника.

В этом отношении более надежным является строительство шугоотбойных шпор. Такие шпоры успешно действуют на ковшах в Новокузнецке, Междуреченске (Томь), Осинниках (Кондома), Новосибирске (Обь). Наблюдения на новосибирском ковше показали, что ледостав за шпорами образуется при первых заморозках, причем припай льда вдаётся в русло реки на 30–40 м, надёжно защищая вход в ковш от проникания шуги [1].

Шугоотбойная коса, построенная ОАО «ПО Водоканал» г. Ростова-на-Дону в районе ковшевого водозабора на р. Дон в 2013 г., направила прибрежный русловой поток к середине реки, не дала массам шуги подойти к берегу, зайти в ковш и забить входные отверстия водозабора, обеспечила стабильную работу водозабора.

Значительно сложнее осуществить ускорение ледостава в руслах рек на водоприемных оголовках. Поэтому большинство действующих оголовков практически остаются не защищенными от шуги. Известны факты применения шугоотбойных запаней не только в ковшах, но и на оголовках (рис. 10, б). Например, ранее запани применялись на русловых водозаборах некоторых промышленных предприятий Барнаула (Обь), Семипалатинска (Иртыш), Иркутска (Ангара), на Омском русловом водозаборе [1].

Рис. 10. Шугоотбойники: а – шугоотбойники – плетни из хвороста, выставляемые в русле реки накануне шугохода; б – стационарная шугоотбойная железобетонная запань; 1 – береговой водоприемник; 2 – плетни; 3 – запань

На мелководных реках шугоотбой может осуществляться более простыми средствами, например плетнями из хвороста, выставляемыми в русле реки накануне шугохода. Плетни располагают под углом к потоку, как показано на рис. 10, а.

На береговых водоприемниках в качестве шугоотбойных устройств могут применяться также *шпоры* из каменной наброски, возвышающиеся на 0,5–1 м над минимальным горизонтом шугохода.

Каждый из рассмотренных методов борьбы с шугой обладает своими преимуществами и недостатками, и на практике редко отдается предпочтение одному из методов.

3. Классификация мероприятий

Помимо рассмотренной выше классификации, основанной на делении групп мероприятий по признаку устранения шуголедовых помех непосредственно у водоприемных окон или на акватории водного объекта, целесообразно классифицировать мероприятия в зависимости от количества шуги и производительности водозабора.

В таблице представлена классификация мероприятий по борьбе с шугой в зависимости от количества шуги и производительности водозабора. Предлагаемая классификация облегчает выбор мероприятий в зависимости от шуголедовой обстановки и особенностей водозабора.

Классификация мероприятий по борьбе с шугой в зависимости от количества шуги и производительности водозабора

Производительность водозабора	Применяемые методы в зависимости от количества шуги
Небольшая	Малое количество шуги
	Обеспечение малых скоростей поступления воды в водоприемное отверстие водозабора
	Пневмозащита фронта водозабора
	Применение специальных фильтрующих водоприемных оголовков
	Промывка решеток обратным током или импульсная промывка
	Применение решеток для водоприемных отверстий из гидрофобных материалов
	Изменение динамического состояния потока путем устройства непосредственно у водозабора струнаправляющих дамб и сооружений
	Устройство шугоотбойных запаней и шпор

Окончание таблицы

Производительность водозабора	Применяемые методы в зависимости от количества шуги
Небольшая и средняя	Среднее и большое количество шуги
	Все мероприятия, проводимые при малом количестве шуги. Для обеспечения надежности работы водозабора предусматривается дублирование водоприемных устройств (оголовков)
Средняя и большая	Среднее количество шуги
	Обогрев элементов и решеток в окнах водоприемника
	Сброс теплой воды выше водозабора по течению реки
Большая	Большое количество шуги
	Устройство ковшевых водозаборов

Выводы

В результате систематизации литературных данных выделены две группы мероприятий по борьбе с шуголедовыми затруднениями на водозаборах. Предложена классификация мероприятий по борьбе с шугой в зависимости от количества шуги и производительности водозабора.

Применение индивидуальных методов по борьбе с шугой как непосредственно у водоприемных окон, так и на дальних подступах к водозаборам не всегда гарантированно предотвращает шуголедовые воздействия. Поэтому для обеспечения надежной работы водозаборов рекомендуется совместное применение нескольких способов защиты от шуги.

Библиографический список

1. Порядин А.Ф. Устройство и эксплуатация водозаборов. – М.: Стройиздат, 1984. –183 с.
2. Объемные фильтрующие кассеты для водозаборных сооружений / А.М. Мотинов, А.А. Ерхов, Ю.И. Сватеев, Н.Н. Сидоров // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 10. – С. 21–24.
3. Устройство защиты водозаборов от шуги: пат. 2254414 Рос. Федерация. № 2002134099/03; заявл. 19.12.2001; опубл. 20.06.2005.
4. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1982.

References

1. Poriadin A.F. Ustroistvo i ekspluatatsiia vodozaborov [Design and operation of water intakes]. Moscow: Stroiiizdat, 1984. 183 p.
2. Motinov A.M., Erkhov A.A., Svateev Iu.I., Sidorov N.N. Ob''emnyie filtruiushchie kassety dlia vodozabornyikh sooruzhenii [Depth filter cartridge for water intake facilities]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika*, 2001, no. 10, pp. 21-24.

3. Ustroistvo zashchityi vodozaborov ot shugi [The device protection of water intakes from sludge]. *Patent 2254414 Rossiiskaia Federatsiia. No. 2002134099/03*.

4. Abramov N.N. Vodosnabzhenie [Water supply]. Moscow: Stroizdat, 1982.

Получено 10.04.2015

Сведения об авторах

Авдеева Марина Андреевна (Пермь, Россия) – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: swuffy1993@gmail.com).

Луферчик Ядвига Сергеевна (Пермь, Россия) – студентка Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: Jadviga1994@mail.ru).

Ручкина Ольга Ивановна (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: xgogax@mail.ru).

About the authors

Marina A. Avdeeva (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: swuffy1993@gmail.com).

Jadviga S. Luferchik (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: Jadviga1994@mail.ru).

Ol'ga I. Ruchkinova (Perm, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department Heat, Ventilation and Water Supply, Sewerage, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: xgogax@mail.ru).