

билизируется, но длина его ламинарной части уменьшается. При значениях числа Рейнольдса выше критического турбулизация начинается от выходного сечения сопла, ламинарный поток полностью исчезает. Повысить устойчивость струи и увеличить длину ее ламинарного участка можно, принимая во внимание теоремы теории устойчивости ламинарного движения. Согласно теореме Рейли-Толмина наличие точки перегиба на профиле скоростей есть достаточное и необходимое условие для возникновения нарастающих колебаний, вызывающих турбулизацию потока. Таким образом, проточная часть сопла должна формировать гладкий профиль скоростей, не имеющий точки перегиба.

Для конструктивного решения этой задачи в сопла вводились распределенные гидравлические сопротивления ( в виде тонкой витой проволоки, тканых сеток и др.), что позволило получить стабильный ламинарный участок длиной до 30 мм при  $Re = 7700$ . Таким образом, сохранение ламинарности при увеличении числа  $Re$  позволяет повысить устойчивость струи и осуществить более качественную защиту. Сравнение структуры струй, истекающих из цилиндрического, конически сходящегося, коноидального сопла и сопла с плоской кольцевой поверхностью на торце показало, что оптимальными являются два последних сопла, причем четвертое формирует несколько больший диаметр выходного сечения струи, что способствует увеличению защитной зоны.

Для газовой защиты традиционно применяются цилиндрические и конические сопла, формирующие осесимметричные струи. Между тем поперечное сечение плоских щелевых струй более адекватно геометрии сварного шва, а для активных металлов - и конфигурации изотерм нагрева в соответствии с тепловыми расчетами академика Р.Н.Рыкалина. Широко распространенная в настоящее время осесимметричная форма защитных струй не отвечает виду изотерм в теле активных металлов, в результате чего расход защитного газа, проходящего через криволинейные сегменты сечения струи, отсекаемые изотермой, оказывается излишним: он не используется по назначению - для защиты металла, активного к определенным газообразным компонентам воздуха. Расчеты показывают, что при тех же скоростях и режимах движения плоская струя является в несколько раз более экономичной в отношении расхода защитного инертного газа, чем осесимметричная струя. При расчетах плоского сопла в качестве аналогов рассматривались клиновидные приточные вентиляционные воздуховоды постоянного статического давления, обеспечивающие равномерное поле скоростей.

## **ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ УРАЛЬСКОГО РЕГИОНА И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ**

*проф. И.С.ШАХОВ, инж. А.Н.ЗАГАРСКИЙ*

Уральский государственный технический университет,

Институт "Уральский Водоканалпроект"

Мировая практика эксплуатации подпорных гидротехнических сооружений свидетельствует, что при авариях могут возникать катастрофические ситуации.

Крупные катастрофы согласно [2] имели место в США, Франции, Италии, Индии, Бразилии и других странах. Буквально национальными бедствиями стали разрушения плотин Глено и Вайонт в Италии, Орос в Бразилии, Сен Френсис, Каньон Лейк, Титон в США, Мальпассе во Франции, Мачху 2 в Индии и другие.

В России, освоившей лишь около 20% гидроэнергетического потенциала (США – 45%, Испания – 65%, Франция – 90%), длительное время крупных аварий не наблюдалось. Однако в последнее десятилетие произошло разрушение Киселевской плотины на р.Какве в Свердловской области и Тирлянской плотины в 1994 г. в Башкирии.

Наиболее частыми причинами аварий на подпорных гидротехнических сооружениях являются ошибки проектов, грубые нарушения правил строительства и эксплуатации водохранилищ, низкая эффективность государственного надзора за их безопасностью. Недостатки инженерно-строительных изысканий являются одной из основных причин неправильной

оценки максимальных расходов воды и как следствие назначаются заниженные размеры водосбросных сооружений.

В число важнейших работ по повышению безопасности проектирования, строительства и эксплуатации плотин во многих странах (США, Швеция, Австралия и др.) включается комплекс исследований, расчетов и обследований для решения одной из важнейших проблем гидротехнического строительства – гидрологической безопасности.

Детальный анализ методов гидрологических расчетов выполнен в работе [1]. Применяющиеся в России достаточно надежные методы обоснования расчетных максимальных расходов в целом, а в частных случаях не исключают грубых просчетов. Ориентация на натурные ряды наблюдений при недостаточном обосновании выбора аналога, недоучет высокой асимметричности распределений максимальных расходов смешанного происхождения и вообще пренебрежение последними являются основными причинами аварий на Киселевском гидроузле в Свердловской области и Тирлянском в Башкирии.

Уральский регион – один из уникальных в России. Наделенный природой сложной гаммой полезных ископаемых он стал мощным индустриальным комплексом России. Начало индустриализации в регионе относится к концу XVII – XIX веков.

Большая водоемкость производственного комплекса и преобладание на Урале преимущественно малых и истоков средних и больших рек явились основной причиной регулирования во времени и по территории речного стока даже с первых лет освоения природных богатств. Первое гидротехническое сооружение построено здесь в 1696 году (Невьянский гидроузел), в 1700 г. в Алапаевске. За столетие в горно-заводских районах их было создано 160, а к середине XIX века - 230. В настоящее время в Уральском экономическом районе насчитывается несколько тысяч водохранилищ. Более 400 из них имеют емкость свыше одного млн. м<sup>3</sup>. Суммарная их емкость составляет почти 25,4 км<sup>3</sup> в бассейне р.Камы, 3,3 км<sup>3</sup> в бассейне р.Тобола и 4,3 км<sup>3</sup> в бассейне р.Урала.

В водохранилищах региона аккумулировано более 25 % годового стока рек. Этот объем, с одной стороны, существенно повышает устойчивость водоснабжения, а с другой, в условиях концентрации значительных водных масс представляет большую опасность для населения и хозяйства региона в случае прорыва плотины.

Чрезвычайные ситуации, связанные с наводнениями, нередко создаются в результате недостаточного учета режима рек. Имеется много примеров, когда жилые дома, хозяйственные сооружения размещаются на поймах рек, подвергаясь частому затоплению. Сами же хозяйственные объекты и другие инженерные сооружения, стесняя поток способствуют повышению уровней воды, усугубляя природные процессы.

Практика показывает, что затопление жилых и хозяйственных объектов происходит по двум основным причинам: нерационального размещения их в поймах рек или в результате прорыва подпорных сооружений и резкого повышения уровней воды в нижних бьефах за счет быстрой сработки объемов воды, аккумулированных в водохранилищах.

Неудачное размещение жилых и хозяйственных объектов в поймах рек может быть представлено на примерах г.Ирбита на берегу р.Ницы и коллективного сада "Шахтер" в пойме р. Тагил в районе поселка Песчаный. Так значительное число жилых домов и некоторые хозяйственные объекты г. Ирбита подвергаются затоплению практически один раз в два года. Строительство автодорожного моста через р.Ницу и дамбы на пойме реки привело к повышению уровня воды в 1979 году за счет подпора примерно на 80 см. Можно ли было избежать этого? Да. Следовало бы только построить водопропускные отверстия в дамбе на пойме р.Ницы примерно так, как это сделано в защитной дамбе г.Санкт - Петербурга.

Еще один пример неудачного хозяйственного решения - это размещение коллективных садов "Шахтер" и "Автомобилист" в пойме р. Тагил ниже плотины Нижне - Тагильского водохранилища. В июле 1993 года в районе г. Нижнего Тагила выпало значительное количество осадков (две - две с половиной месячные нормы). Осадки выпадали тремя волнами: 3 - 8,11 - 15 и 17 - 23 июля. Наибольший суточный слой осадков по г. Невьянску наблюдался 13 июля и составил 43,4 мм. По данным метеорологических станций г. Нижнего Тагила и п. Висим наибольшие суточные осадки наблюдались 19 июля и соответственно составили 66,3 и

46,6 мм. Повторяемость указанных слоев осадков составляет один раз в пять - тринадцать лет. Поэтому они могут рассматриваться как рядовое часто повторяющееся явление.

Наибольшие расходы воды (приток) в створе Ленеvского водохранилища отмечались 22 и 23 июля и составили соответственно 180 и 177 м<sup>3</sup> в секунду. Наибольший приток к Черноисточинскому водохранилищу наблюдался 21 июля и составил 51,7 м<sup>3</sup>/с. На следующий день приток составлял 37,8 м<sup>3</sup>/с, а днем раньше 41,5 м<sup>3</sup>/с. Наибольший приток к Нижне - Тагильскому водохранилищу отмечался 20 июля и составил 315 м<sup>3</sup> в секунду.

Наибольший сбросный расход воды по Нижне - Тагильскому водохранилищу имел место 20 июля и составил 278 м<sup>3</sup> в секунду, то есть на 37,0 м<sup>3</sup> в секунду меньше притока. Повторяемость сбросного расхода воды по Нижне - Тагильскому водохранилищу составляет один раз в 20 - 25 лет, то есть не относится к чрезвычайной.

Территория сада "Шахтер" полностью затопляется даже при расходах воды в р. Тагил порядка 190 - 200 м<sup>3</sup>/с, повторяемость которых составляет раз в 10 лет. Все изложенное позволяет констатировать, что участки под коллективные сады были отведены без учета режима р. Тагил и они размещены на часто затопляемой территории.

Чрезвычайные ситуации, связанные с прорывом грунтовых плотин в принципе имеют различные причины. Возможность прорыва грунтовых плотин заложена в действующих в России строительных нормах и правилах [3]. Размеры водосбросов рассчитываются на пропуск максимального расхода воды, повторяемость которого зависит от класса капитальности сооружений. Например, для гидросооружений четвертого класса капитальности, к которым относится большинство плотин в регионе, расчетным принимается максимальный расход воды 5% обеспеченности или повторяемостью один раз в 20 лет. Поверочный расход для такого сооружения принимается равным 1% обеспеченности или повторяемостью раз в 100 лет. В случае наступления максимального расхода воды более редкой повторяемости возможно переполнение водохранилища, перелив воды через гребень грунтовой плотины и, как следствие, её разрушение. В таком случае на участке реки ниже водохранилища расходы воды оказываются намного больше природных за счет сработки ёмкости водохранилища. Например, при максимальном притоке к Киселеvскому гидроузлу в июне 1993 года, равном около 1300 м<sup>3</sup> в секунду, наибольший расход воды р. Каквы в створе г. Серова составил 2600 м<sup>3</sup> в секунду, то есть больше природного в два раза.

Большая изменчивость водного режима рек и сложность условий формирования максимальных расходов воды приводят к тому, что расчетные их значения подсчитываются в ряде случаев весьма приближенно. Погрешность в ±25% от расчетной величины считается вполне допустимой. Однако на практике она бывает чаще всего значительно больше. Предусматриваемые СНиПом гарантированные поправки нередко также не могут устранить неточность расчетных расходов.

Ошибки при расчете максимальных расходов возникают по двум причинам:

- недостаточное обобщение имеющихся материалов наблюдений и стремление отдать предпочтение натурным сведениям на данном водотоке или аналоге вблизи створа проектируемого сооружения;

- недостаточная изученность генезиса формирования максимальных расходов воды.

В качестве примера первой причины можно рассматривать Верхне - Макаровский гидроузел на р. Чусовой. Пропускная способность водосброса на данном гидроузле составляет 204 м<sup>3</sup>/с и получена на базе наблюдаемых сведений по максимальным расходам воды в верховьях р. Чусовой. Максимальный расход воды, имевший место в 1979 году, существенно превысил наблюдаемые данные и показал ошибочность расчетных расходов принятых при проектировании для обоснования размера водосброса. Если же рассматривать имеющиеся сведения по максимальным расходам р. Чусовой за период с 1881 года по настоящее время, то нетрудно установить, что самые большие расходы воды весеннего половодья на р. Чусовой имели место в 1902 и 1914 годах. Эти расходы не превышены расходом воды 1979 года.

Выполненные обобщения по максимальным расходам воды с учетом всех створов, по которым велись наблюдения за стоком реки Чусовой с начала наблюдений по шестидесятые годы текущего столетия, позволили оценить расчетный расход воды по створу Верхне - Ма-

каровского водохранилища в объеме 310 м<sup>3</sup>/с. Именно близкая к этому значению величина максимального расхода принята АОТ "Уральский Водоканалпроект" с учетом данных за 1979 год. Следовательно, адекватная реальной величина максимального расхода могла быть получена при более глубоком и грамотном обосновании ещё в период проектирования.

Подобные просчеты видимо не единичны и они могут привести к чрезвычайным ущербам. Так при наступлении расчетного максимума на р.Чусовой водосброс Верхне - Макаровского гидроузла не сможет его пропустить. Произойдет переполнение водохранилища, перелив воды через гребень плотины и последующий её размыв. Полагаю, что паводочная волна, сформировавшись за счет интенсивной сработки Верхне - Макаровского и Волчихинского водохранилищ, создаст большие трудности в районе г.Первоуральска и других мест ниже гидроузла по р.Чусовой. Останется в этом случае без воды и г.Екатеринбург. Последствия этой катастрофы трудно представить, имея в виду почти полутора миллионный город.

Второй причиной неудовлетворительных проектных решений в Уральском регионе является недостаточная изученность генезиса формирования стока и связанные с этим грубые ошибки при обосновании параметров водопропускных сооружений на гидроузлах.

В практике гидрологических расчетов до последнего времени широко применяются статистические методы. Как известно, в таких случаях должны соблюдаться условия случайности расходов, однородности условий их формирования, представительности выборки. Не останавливаясь детально на обосновании этих положений в каждом конкретном случае, отмечу лишь, что для соблюдения принципа однородности самостоятельно рассматривают следующие три совокупности расходов воды по генезису: расходы, сформированные за счет снеготаяния, дождевого происхождения и смешанного (снеготаяние и дожди одновременно).

В Уральском регионе до последних лет принималось, что на больших и средних реках максимальные расчетные расходы имеют снеговое происхождение, а на малых - дождевое. Казалось, что условий для формирования здесь максимумов за счет снеготаяния и дождей совместно нет. Однако исследования [4] показали, что в результате большой расчлененности Уральских гор и сравнительно больших колебаний высоты водосборов в ряде районов Свердловской области такие условия есть. Поэтому, наряду с первыми двумя группами необходимо в северных районах области в обязательном порядке выполнять оценку значений максимальных расходов воды смешанного происхождения. Установлено, что для гидротехнических сооружений I - III классов капитальности в северных районах расчетными могут быть, как правило, максимумы смешанного происхождения. Недоучет этой особенности формирования стока рек явился основной причиной серьезной ошибки при проектировании Киселевского гидроузла. Расходы воды смешанного происхождения наблюдаются не ежегодно. Поэтому их распределения отличаются большой асимметричностью. Именно по этой причине в зоне малых обеспеченностей или редкой повторяемости они превышают расходы снегового и дождевого происхождения.

Не менее опасны нарушения норм строительства и эксплуатации гидросооружений. Такие сооружения находятся в сложных условиях, в постоянном контакте с водой. Как известно, при отсыпке тела грунтовой плотины никогда не удастся достичь наибольшего уплотнения грунта. Поэтому при строительстве гребень плотины должен отсыпаться выше проектной отметки. В период эксплуатации происходит консолидация грунта и опускание гребня. Нельзя допускать просадок гребня ниже нормативной отметки. Весьма тщательно следует подходить к подбору марок цемента, качеству приготовленного бетона и его укладке. Нельзя допускать раковин в стенках сооружений и других деталях. Особенно тщательно должны выполняться сопряжения водопропускных сооружений с телом грунтовых плотин. К сожалению, в реальной практике эти требования нередко нарушаются. Например, по Ново - Мариинскому гидроузлу, введенному в эксплуатацию в 1968 году, при обследовании в августе 1997 года обнаружены существенные дефекты. Имеет место примерно до полуметра просадка грунта на гребне плотины в зоне примыкания её к паводковому водосбросу с обеих сторон. Подсыпка грунта в период эксплуатации не проводилась. В донном водовыпуске имеются многочисленные свищи (вероятно, выходы фильтрационного потока), нарушения стенок и кровли водовыпусков. Современное их состояние вызывает серьезные опасения и без принятия срочных мер может привести к аварии. Основной причиной дефектов водовы-

пуска, вероятно, являются нарушения технологии строительных работ и низкий уровень авторского надзора в период строительства. Уверенность в этом основывается на очертании в плане паводкового водосброса. Паводковый водосброс берегового типа оборудован в скале. Левый борт водосброса (в сторону русла реки) представлен подпорной железобетонной стенкой, достаточной толщины и высоты. Но недоразборка скалы на расстоянии 40 - 30 м от гребня водослива привела к тому, что поток направлен практически перпендикулярно к подпорной стенке и подмыл её в этом месте. Безусловно, при наличии авторского надзора в период строительства этот дефект был бы устранен.

Полагаем, что в Уральском регионе нет необходимости в размещении жилых и производственных объектов в затапливаемых зонах. По объектам, которые уже размещены в таких зонах, следует организовать специальное страхование, средства которого могли бы быть использованы для покрытия ущерба граждан и предприятий.

Для исключения дополнительных ущербов за счет прорывной паводочной волны необходимо во многих случаях изменить норматив выбора расчетной обеспеченности максимальных расходов воды. По гидроузлам, расположенным выше населенных пунктов, при прорыве которых возможны большие ущербы или гибель людей, пропускную способность водосбросов следует оценивать на максимально возможный расход воды, а не на расход воды определенной обеспеченности (в зависимости от класса капитальности).

В северных районах Свердловской области на реках, попадающих в зону формирования максимальных расходов смешанного происхождения, целесообразно организовать реконструкцию водосбросов на действующих сооружениях.

В Пермской, Челябинской областях и в Башкортостане, где также возможны зоны формирования максимальных расходов воды смешанного происхождения, целесообразно срочно провести соответствующие научные разработки.

В части соблюдения технологии строительства и эксплуатации сооружений ничего нельзя предложить, кроме как соблюдение этих технологий по новым объектам. По действующим сооружениям необходимо в срочном порядке выявить все недостатки и устранить их в порядке приоритетности объектов в зависимости от возможного ущерба в случае их разрушения. Учитывая весьма сложные условия работы гидротехнических сооружений, нельзя осуществлять их строительство без авторского надзора проектной организации. При разработке проектов, строительстве, эксплуатации, реконструкции гидросооружений и ремонте необходимо строго соблюдать требования Федерального закона о безопасности гидротехнических сооружений, принятого Государственной Думой 23 июня 1997 года.

#### Библиографический список

1. Асарин А.Е., Прудовский А.М., Родионов В.Б. Современные подходы к нормированию и оценке максимального речного стока // Безопасность энергетических сооружений. М.: НИИЭС. № 1, 1998 с.83-91.
2. Варнавский Б.П., Радкевич Д.Б.. Государственный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений электростанций // Безопасность энергетических сооружений. М.: НИИЭС. № 1, 1998 с.6-12.
3. Гидротехнические сооружения. Справочник проектировщика. М.: Изд-во "Стройиздат". 1983. – 544 с.
4. Шахов И.С. Уточнение расчетных характеристик максимального стока по некоторым рекам Урала // Третьи уральские академические чтения. Екатеринбург, 1997 с.56-61.

### **ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ТРИКОТАЖНЫХ ФАБРИК**

*к. т. н. С.А.КУДРИН, к. т. н. Л.В. БАРТОВА, Е.В.ГОРБУНОВА*

Пермский государственный технический университет

В небольших городах текстильная промышленность представлена, в основном, трикотажными фабриками малой производительности. В процессе производства на этих предпри-