

следующие взаимосвязи и достоверно характеризует отыскиваемые параметры, при которых уровень взаимосвязи (коэффициент конкордации) достигает 98%. Разница между глубиной на пороге и осадкой судна (динамическая просадка судна) только на 50% определяется водностью и наполненность подходного канала водой. На 20% это зависит от характера и периодичности попусков призм опорожнения в подходной канал, и на 11% – динамикой спадов-подъемов отметки уровня воды волновой поверхности на подходах к шлюзу, оставшаяся дисперсия объясняется влиянием других факторов.

Характер влияние на просадку уровня воды над порогом полностью определяется межфакторным взаимодействием исследованных величин, так как прямого, однозначного влияния на конечный результат ни одна из величин не оказывает. Наибольшее влияние (от преобладающего до подавляющего) на просадки оказывают глубины на порогах, которые в свою очередь зависят как от попусков ГЭС, так и от характера попусков опорожнения камер шлюза. Таким образом, при должном влиянии на изменение этого фактора можно найти дополнительные резервы в увеличении глубины для шлюзуемых судов за счет минимизации просадки последних при движении.

Выполненные экстраполяционные расчеты по полученной эмпирической формуле, аппроксимирующей экспериментальные данные, однозначно исключают возможность безаварийного шлюзования судов с осадкой более 2,6 м и запасом глубины под днищем корпуса в 30 см при одновременной работе обеих ниток нижних шлюзов ГРЭС. В тоже время, при дальнейших углубленных исследованиях, вполне возможен подбор таких параметров процесса шлюзования, при которых движение флота с осадкой более 2,6 м, возможно и с запасом в 30 см.

М.А. Матюгин, Д.А. Мильцын
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ В БЕЗНАПОРНЫХ СЕТЯХ

Ключевые слова: измерение расхода воды, гидрометрия

В статье приведен обзор современных методов и приборов измерения расходов воды в открытых каналах и естественных водотоках, отражены недостатки и погрешности при их применении.

Коммерческий учет расходов воды имеет важное значение и требования по его организации определены постановлениями Правительства РФ от 12.02.1999 г. № 167 «Об утверждении Правил пользования системами коммунального водоснабжения и канализации в РФ» и от 10.04.2007 г. № 219 «Об утверждении Положения об осуществлении государственного мониторинга водных объектов», а также Приказ Минприроды России от 8.07. 2009 г. № 205 «Об утверждении Порядка ведения собственниками водных объектов и водопользователями учета объема забора (изъятия) водных ресурсов из водных объектов и объема сброса сточных вод и (или) дренажных вод, их качества».

Сбросные воды в системах канализации и водоотведения транспортируются по напорным или безнапорным трубопроводам и открытым каналам. В первом случае воду качают насосы, во втором она идет по трубам «самотеком». Измерение объема напорных стоков – задача давно решенная. Существует большое количество приборов, используемых как для измерения входящей воды, так и для водоотведения.

Более сложная задача – учет безнапорных стоков. Здесь часто используется открытый канал или естественное руло реки, по которым вода течет под действием силы тяжести с небольшой скоростью.

В настоящее время измерение расхода жидкости в безнапорных каналах осуществляется приборами с использованием метода «переменного уровня» и метода «площадь-скорость» [1,2].

Метод «переменного уровня» появился гораздо раньше, в качестве расходомера используется уронемер, пересчитывающий «уровень в расход» с учетом информации об измерительном сечении. В качестве такого сечения используются встраиваемые в канал лотки Вентури и Паршалля или водосливы, размеры которых стандартизованы и для которых полуэмпирическим путем получены формулы пересчета «уровень-расход».

Лоток Вентури представляет собой устройство, вызывающее сжатие потока и перепад уровней воды, при котором расход жидкости зависит только от уровня в контрольном сечении. В зависимости от способа отбора импульса и установки дифманометра применяются два варианта водоизмерительных лотков: I вариант – со шкафом и II вариант – с колодцем. Для определения расхода замеряется высота слоя воды в контрольном сечении. Лотки Вентури можно выполнять из железобетона или металла.

Возведение таких водосливных сооружений как лотки Вентури и Паршалля связано с большим объемом работ по переустройству канала и может производиться только при временной остановке и осушении водосбросного канала.

Метод «переменного уровня» используется в ряде более современных расходомеров для измерения расхода в безнапорных трубопроводах и каналах. Измерение уровня осуществляется, как правило, ультразвуковыми уронемерами, пересчет значения уровня в расход осуществляется по запрограммированным напорно-расходным характеристикам контролируемого канала.

Претензии к данному методу возникают в основном из-за его «неочевидности», и точкой отсчета здесь являются результаты предварительного расчета напорно-расходной характеристики лотка, водослива или трубопровода. Точность этого расчета обуславливает точность дальнейшей работы прибора. При этом основной причиной нарастающей погрешности лотков Паршалля и Вентури является их постепенное разрушение, а возможности их ремонта и поверки, как правило, нет, т.к. для этого необходимо остановить работу очистных сооружений. Что касается расходомеров типа «ЭХО-Р», «ВЗЛЕТ», то для определения характеристики безнапорного трубопровода или U-образного канала необходимо экспериментальным путем измерить зависимость средней скорости потока жидкости от уровня заполнения канала, т.е. его расходную характеристику. Измерение точной расходно-уровенной характеристики канала затрудняется стохастическим характером изменения расхода. Другой способ расчета – при помощи формулы Шези, в которой фигурируют такие параметры, как уклон канала и коэффициент шероховатости стенок и дна. Здесь проблема таится в том, что и уклон, и шероховатость – это «теоретические» параметры. Реальный уклон может не соответствовать тому, что указан в проектной документации и быть неравномерным по длине канала, а коэффициент шероховатости стенок и дна по понятным причинам изменяется в процессе эксплуатации. Как бы то ни было, эти данные заносятся в прибор и определяют корректность измерения. Более серьезная проблема – возникновение подпоров, а также заиливание каналов. При этом реальные расходные характеристики очень сильно отличаются от занесенных в прибор. Ошибка в исходных данных ведет к недоверности учета, причем во многих случаях эту недоверность можно и не «зафиксировать». Дополнительным фактором, влияющим на достоверность измерения таких приборов, является изменение температуры, давления, влажности, интенсивные осадки, испарения, туман, а также волна и пенообразование на поверхности потока.

Более современные и корректные двухканальные приборы учета стоков работают по принципу «площадь-скорость». Эти приборы осуществляют прямое измерение уровня и скорости потока. Геометрические параметры канала введены в память прибора заранее: используя эти данные и получаемую в реальном времени информацию

об уровне заполнения, прибор вычисляет площадь поперечного сечения потока в данный момент времени и, умножая его на измеренную среднюю скорость, рассчитывает расход и объем стоков. Также эти приборы определяют направление движения жидкости в канале.

Ультразвуковые расходомеры, в которых установленный на дно датчик измеряет скорость потока методом ультразвуковой доплеровской локации, а уровень потока измеряется с помощью ультразвука, гидростатическим или пьезометрическим методом. Для ультразвуковых доплеровских уровнемеров существует ряд своих ограничений – поток должен быть ламинарным, уровень ила и др. отложений в канале не должен превышать уровня излучателей датчика скорости потока, монтируемом на дне канала. Превышение иловых отложений выше допустимого уровня приводит к преломлению зондирующего луча на границе «ил-жидкость», что существенно увеличивает погрешность измерения скорости потока. При использовании гидростатического метода измерения уровня потока погрешность увеличивается. Монтаж этих приборов на эксплуатируемых каналах с большим уровнем заполнения и большой скоростью потока весьма затруднителен. Приборы не осуществляют прямого измерения средней скорости потока, что вносит дополнительную погрешность вычисления расхода жидкости. Клиноструйность потока, часто встречающаяся в реальных условиях, также вносит дополнительную погрешность измерения скорости потока.

Радиолокационный расходомером скорость потока измеряется радиолокационным методом в субмиллиметровом диапазоне длин волн. Прибор устанавливается над поверхностью жидкости в канале. Уровень измеряется ультразвуковым уровнемером. Имеет ограничения работоспособности при интенсивных осадках, испарениях, туманах, волнистости и пенообразовании на поверхности потока, неработоспособен при переливах канала, что часто встречается при установке прибора в колодцах.

Рычажно-маятниковый расходомер безнапорных потоков «СТРИМ». Уровень потока определяется по углу отклонения от вертикали рычага с поплавком, подвешенным над потоком и свободно плавающим на его поверхности. Измерение средней скорости потока осуществляется измерением угла отклонения от вертикали лопасти (отрезок трубы), подвешенной над потоком (как маятник) и свободно опущенной в поток. Угол отклонения является функцией скорости потока, уровня потока, ширины и массы лопасти. Расходомер «СТРИМ» – единственный из приборов, осуществляющий прямое измерение средней скорости потока, можно сказать, что эпюра скоростей потока «сидит» на лопасти преобразователя скорости. В прибор, помимо подвески с вертикальным перемещением чувствительных элементов преобразователей уровня и скорости, введено поворотное устройство в горизонтальной плоскости, что обеспечивает верное измерение параметров не только ламинарного, но и турбулентного потока, в т.ч. в условиях клиноструйности потока. Лопасть преобразователя скорости, за счет двух степеней свободы в подвеске, автоматически устанавливается в уравновешенное состояние в потоке, т.е. в положение равновесия всех сил, действующих на нее. Скорость потока в этом месте максимальна. На лопасть, по всему ее профилю, интегрально действуют все составляющие силы вертикальной эпюры скоростей потока, что обеспечивает однозначное высокоточное измерение средней скорости потока. Прибор обеспечивает стабильную работу при осадках любой интенсивности, волны и пенообразовании на поверхности потока, переливах и подпорах потока, изменении температуры и давления окружающей среды.

Следует помнить, что узел учета безнапорных потоков состоит из двух компонентов, влияющих на погрешность и корректность измерения: установленный прибор учета и, собственно, канал в зоне измерения. Совокупная погрешность узла учета безнапорных потоков определяется инструментальной погрешностью расходомера, метода измерения и погрешностей, связанных с измерительным участком канала по месту установки прибора. К основным погрешностям канала следует отнести: погрешность измерения его геометрических размеров, наличие твердых иловых отложений

на дне канала, неравномерность геометрии и уклона канала в зоне измерения, наличие в зоне измерения поворотных участков и боковых стоков, а также поверхностных сливов жидкости. Дополнительными факторами могут являться замерзание жидкости в канале, наличие ледопадов при установке приборов в колодцах и пр. К сожалению, состояние водосбросных сетей далеко не всегда соответствует необходимым требованиям. Поэтому большая доля ответственности за правильность измерения лежит на эксплуатирующей организации, требуется строгое соблюдение правил и требований эксплуатационной документации.

Все существующие расходомеры безнапорных потоков осуществляют измерение объемным способом, т.е. помимо собственных инструментальных погрешностей прибора присутствуют погрешности канала, связанные с неточностями исполнения и измерения его геометрии, состоянием дна, стенок, донными отложениями и пр. Как правило, в процессе эксплуатации каналов эти факторы усугубляются.

Измерение безнапорных потоков сопровождается целым рядом помеховых воздействий, связанных с состоянием трубопровода, измерительного лотка, состоянием потока. К таким помеховым воздействиям следует отнести: подпоры, заиливание канала, клиноструйность, возмущенность потока, неоднородность среды сбрасываемой жидкости, обратный поток. На корректность измерения дополнительно влияют интенсивные осадки, испарения и туманы, а также пенообразование и волна на поверхности жидкости в канале. В зависимости от физического принципа измерения и индивидуальных особенностей прибора эти помехи влияют в большей или меньшей степени на корректность измерения.

Рассмотрим перечисленные выше помеховые воздействия.

Подпор – подъем уровня жидкости, возникающий вследствие преграждения или стеснения русла водотока или изменения условий стока. Типичные причины возникновения – попадание в канал посторонних предметов, заиливание канала примесями при его малых уклонах и низких скоростях (менее 0,4 м/с) потока или подтопление выходного отверстия. Для подпоров характерно увеличение сопротивления потоку, вплоть до невозможности его полного прохождения, изменение напорно-расходной характеристики канала. В случаях, когда сечение канала обеспечивает возможность прохождения потока, в зоне выше затора происходит повышение уровня потока, уменьшение его скорости при сохранении значения расхода. А в зоне затора – наоборот, уровень жидкости повышается, площадь поперечного сечения потока уменьшается, скорость потока возрастает при сохранении значения расхода. В случаях, когда сечение канала в зоне подпора не обеспечивает возможность полного пропускания поступающей жидкости, возникают переливы, вплоть до истечения канализируемой жидкости на ландшафт. В зоне, непосредственно примыкающей к месту подпора, возникает «замирание» части потока и эпюра скоростей в этой зоне изменяется, а эффективная площадь поперечного сечения потока уменьшается. Как следствие, возникает заиливание канала в этой зоне.

В каналах, где возможен подпор (т.е. в большинстве), узлы измерения не рекомендуется оборудовать приборами, работающими по методу переменного уровня, использующими для вычисления расхода табличные характеристики «уровень-расход». Вместо этого следует использовать приборы, реализующие метод измерения «площадь-скорость».

Под заиливанием понимается накопление в водных объектах наносов и осадков. Основными причинами заиливания является загрязненность потока при низкой (менее 0,4 м/с) скорости течения и малых значениях уклона канала.

При заиливании рекомендуется периодический, а лучше автоматический контроль уровня иловых отложений, проводить систематическую чистку канала. При использовании ультразвуковых доплеровских расходомеров не допустим уровень иловых отложений, перекрывающий излучающие элементы установленных на дне канала измерительных датчиков. При этом увеличение погрешности измерения ско-

рости потока связана с дополнительным преломлением ультразвукового сигнала на границе переходов «излучающий элемент – иловое отложение – вода».

Клиноструйность – вызванное какими-либо причинами отклонение равнодействующей составляющей эпюры скоростей от геометрического центра канала. Обычно возникает при изгибах и поворотах русла канала, боковых отводах, а также при наличии на дне и боковых стенках канала каких-либо препятствий, не перекрывающих всю его ширину. При клиноструйности происходит изменение эпюры скоростей и смещение ее равнодействующей составляющей от оси канала. Как правило, такое смещение носит нестабильный характер и может изменяться во времени, зависеть от интенсивности потока и его уровня. Клиноструйность вносит дополнительные погрешности в измерение, осуществляемое приборами с использованием «лучевых» методов измерения скорости потока: ультразвуковых, радиолокационных.

Возмущенность потока оказывает существенное влияние на корректность измерения скорости потока жидкости в канале. Эпюра скоростей сильно отличается в ламинарном и турбулентном потоке. В реальных коллекторах и каналах пограничные состояния между ламинарным и турбулентным потоком встречаются достаточно часто и для корректного измерения необходимо знать или измерять эпюру скоростей потока в реальном времени.

Неоднородность среды контролируемой жидкости влияет на погрешность измерения, особенно для ультразвуковых расходомеров, т.к. скорость распространения ультразвука в среде является одной из основных составляющих вычисления скорости потока жидкости.

Под обратным потоком понимается изменение направления движения жидкости на противоположное. Возникновение противотока – аварийная ситуация для канала водоотведения. Для корректного учета расхода жидкости необходима информация не только об уровне и скорости потока, но и о направлении потока жидкости в канале.

Интенсивные осадки, туманы, испарения, пенообразование и волна на поверхности жидкости существенно влияют на измерение параметров потока, осуществляемое радиолокационными методами в субмиллиметровом диапазоне и ультразвуковое измерение уровня жидкости.

В таких климатических условиях происходит интенсивное рассеивание и поглощение радиолокационного сигнала, что приводит к существенным ошибкам измерения, вплоть до неработоспособности прибора. При пенообразовании отражение субмиллиметрового радиолокационного сигнала будет происходить от поверхности пены, скорость движения которой может заметно отличаться от скорости движения жидкости в канале. При волне на поверхности жидкости неизбежно переотражение зондирующего сигнала, что приведет к прерыванию измерения и ошибкам измерения.

При ультразвуковом измерении уровня потока в условиях таких климатических воздействий происходит не только рассеивание и множественное отражение ультразвукового сигнала, но и существенное изменение скорости его распространения в среде, что приводит к существенным ошибкам измерения, вплоть до невозможности их выполнения. Влияние пенообразования и волны на поверхности жидкости аналогично помеховому воздействию на радиолокационное измерение.

Таким образом, применение вышеперечисленных приборов измерения расходов воды в естественном русле реки может привести к существенным ошибкам.

Список литературы:

- [1] Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. I. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 384 с.
- [2] Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып.2. Ч.II. Гидрологические наблюдения на постах. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – 264 с.