

УДК 628.15.12

Design Intake Structuressiberian Region

Anatoly I. Matushenko*
*Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia*

Received 18.11.2014, received in revised form 10.12.2014, accepted 20.01.2015

The article deals with certain subterranean and surface water inlet springs' designing particularities applying to Siberia.

Keywords: designing and calculation of water intake, hydraulic and hydrological dependence sustainable section line of the river-water source.

Проектирование водозаборных сооружений сибирских регионов

А.И. Матюшенко
*Сибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, Свободный, 79*

Изложены некоторые особенности проектирования водозаборных сооружений в Сибири из подземных и поверхностных источников.

Ключевые слова: проектирование и расчет водозаборов, гидравлико-гидрологические зависимости устойчивого створа реки-водоисточника.

Проектированию и расчету водозаборов предшествует комплекс гидрологических изысканий, связанных с выбором устойчивого створа реки-водоисточника [1]. По данным изысканий определяют элементы гидравлики потока и морфометрии русла, например, связь относительной ширины и формы сечения по расходу, другие гидравлико-гидрологические зависимости. Выполненные в Сибирском федеральном университете исследования показали, что для коэффициента шероховатости связь с расходом, как правило, обратно пропорциональна, когда малым наполнениям русла соответствуют большие значения его и наоборот. Коэффициент Шези изменяется асинхронно коэффициенту шероховатости, имея тенденцию к стабилизации своего значения на средних и высоких горизонтах, о чем уже упоминается в

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: merkulov@legis.krsn.ru

специальной литературе (Г.В. Железняков, И.Ф. Карасев и др.). Коэффициент гидравлического сопротивления или трения, по Дарси, ведет себя при повышении расхода подобно изменению коэффициента шероховатости, т.е. вначале на малых глубинах резко убывает, а затем на средних и больших уровнях уменьшается более плавно. Для многих потоков зафиксированы величины расходов и относительной ширины, когда гидравлическое сопротивление минимально [2]. Объясняется это тем, что с ростом расхода убывающее на средних и вышесредних горизонтах сопротивление возрастает из-за того, что поток (до выхода на пойму) начинает затпливать свои русловые макро- и мезоформы – косы, побочни, осередки, другие неровности дна и берегов, не задействованные во время межени, хотя относительная ширина при этом продолжает монотонно убывать до самого пика гидрографа. Поэтому две функции – гидравлическое сопротивление и относительная ширина – в зависимости от расхода равнонаправлены, а их связь между собой при разработанной потоком форме сечения имеет минимум. Имея прямую пропорциональность с расходом, гидравлический уклон, принимаемый по уклону свободной поверхности как для равномерного режима, при больших наполнениях русла начинает стабилизироваться. Его связь со средней скоростью или со скоростным напором носит параболический характер и подлежит дальнейшему исследованию и обобщению для разных типов русел разной водности. С коэффициентом шероховатости и относительной шириной гидравлический уклон связан в обратной пропорции, и это станет понятным, если учесть, что, например, большим уклонам соответствуют и большие расходы, а большим расходам сопутствуют малые величины коэффициента шероховатости. При увеличении относительной ширины уклон снижается – на малых расходах потери капора у потока также невелики, когда он с минимальной затратой энергии течет в широком русле с большой относительной шириной. Поскольку связи расхода с уклоном, с одной стороны, и расхода с относительной шириной и формой русла – с другой, на графиках этих характеристик разнонаправлены, то обратная пропорциональность между уклоном и относительной шириной фиксирует то обстоятельство, что меженные потоки с малыми уклонами имеют и широкие (т.е. с большой относительной шириной) русла. Мутность от взвешенных наносов, включая ее наибольшую концентрацию во время паводков (например, 1000 г/м^3), на изменение гидравлического сопротивления, оцениваемого коэффициентом трения по Дарси, практически не влияет [1].

В рамках оборотных систем водоснабжения необходимо решать вопросы подпитки систем водой. В этой связи достаточно актуальной является разработка надежного узла водозабора. Предложенные конструкции отвечают ряду новых требований по рыбозащите, но при этом не имеют движущихся узлов или узлов, подверженных засорению и требующих периодической промывки (сетки, фильтрующий материал и т.д.). Водоприемник для неглубоких водоемов представляет собой вихревую камеру щелевого типа с рыбоотгораживающим коробом. Забор воды производится из нижних слоев воды, при этом не затрагиваются верхние и средний слои воды, где наблюдается максимальная концентрация молоди рыб. Водоприемник имеет небольшие размеры по высоте, что позволяет использовать его в неглубоких водоемах. Вторая конструкция – это модификация водозабора фуникулерного типа. На платформе установлено зонтичное рыбозащитное устройство круглой или прямоугольной в плане формы. Напорные трубы могут перемещаться по направляющим вместе с платформой. Положительной стороной в предложенной конструкции выступает работа её весь сезон в

одном положении и относительно низкая стоимость. Для обеспечения работы конструкции в одном положении необходимо обеспечить её установку под минимальный уровень воды в водоёме.

Бурный рост развития производственных сил Восточной Сибири требует решения задачи по интенсификации систем водоснабжения и повышения их производительности [3]. Одной их эффективных систем водоснабжения, позволяющих получать (питьевую) воду без применения сложных в строительстве и дорогостоящих в эксплуатации очистных сооружений, служит применение инфильтрационных водозаборов. Особенностью эксплуатации инфильтрационных водозаборов является снижение во времени его дебита вследствие кольматации руслового аллювия в зоне активного влияния сооружений. Наиболее точный расчет производительности данного вида сооружений может быть получен только за счет привлечения двух- или трехмерной постановки задачи о процессах кольматации с учетом начальных и граничных условий [1]. Система нелинейных уравнений, описывающая этот процесс при гидрогеологических расчетах подрусовых инфильтрационных водозаборов, в случае двухмерной задачи имеет следующий вид:

1) уравнения движения (гидродинамического давления):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\gamma \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\gamma \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0,$$

где $\gamma = \frac{K}{\mu(1-\rho)}$; K – коэффициенты проницаемости; μ – коэффициент динамической вязкости;

ρ – концентрация взвешенных наносов; H – гидродинамический напор;

2) уравнение неразрывности (конвективного массопереноса):

$$(1-\zeta) \frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{1}{m_0(1-\rho)} \left[q_x \frac{\partial \rho}{\partial x} + q_y \frac{\partial \rho}{\partial y} \right] = -(1-\varepsilon-\rho) \frac{\partial \zeta}{\partial \tau},$$

где m_0 – начальная пористость руслового аллювия; q_x, q_y – удельный расход по направлениям (x) и (y) соответственно; ζ – насыщенность руслового аллювия взвешенными наносами в процессе кольматации; ε – пористость осевшей массы наносов; τ – время;

3) уравнение кинетики процесса кольматации (массообмена) [4]:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial \tau} = F(\rho, \zeta),$$

где

$$F(\rho, \zeta) = \lambda \left(\rho - \frac{a_0 \zeta}{\zeta_0 - \zeta} \right),$$

где ζ_0 – максимальная (предельная) насыщенность; λ, a_0, ζ – постоянные коэффициенты.

Начальные и граничные условия системы могут быть:

$$H(0, \tau) = 0, \quad H(h, \tau) = H_1(\tau);$$

$$\rho(x, 0) = \begin{cases} 0, & x > 0 \\ \rho_0(0), & x = 0 \end{cases};$$

$$\rho(0, \tau) = \rho(\tau)$$

$$\zeta(x, 0) = 0$$

при

$$q = -\frac{K}{\mu} \cdot \text{grad}H.$$

Теоретически и экспериментально-натурным подтверждением выявлено приближенное постоянство фактических и фиктивных расходов (K , фиктивный расход – произведение ширины потока B на максимальную глубину в сечении H и наибольшую поверхностную скорость v), имеющее ряд практических приложений.

Определение расхода по наиболее доступным для измерения элементам его фиктивного значения $Q = KBHV$ требует минимальной натурной информации, т.е. не нужно определение измерения площади живого сечения, наибольшую поверхностную скорость измеряют поплавками, а графические действия аппроксимируют линейной функцией.

Интер- и экстраполировать расход в основном русле, на пойме и в каньонном створе с вертикальными берегами необходимо в последних двух случаях при изломе связи расхода с его фиктивным значением. Так, для пойм линейный график связи фактических (ордината) и фиктивных (абсцисса) расходов имеет излом по абсциссе. Для малоизученных или совсем неизученных потоков наиболее простым способом экстраполяции здесь является метод аналогий, где за основу принимается движение в пойменном створе с приблизительно одинаковыми природными условиями. Для р. Каса (Большого Каса) и Малого Каса в междуречье Оби и Енисея, например, угол излома связи фактических и фиктивных расходов на соответствующих графиках приблизительно равен 20° [3]. Возможно рассматривать это постоянство как константу гидравлического подобия при натурном моделировании открытых потоков, например канала, отводимого от реки-источника. Гидравлическое подобие при натурном моделировании будет соблюдено, если K для естественного аналога (реки) и нового искусственного потока (канала) имеет одинаковую величину. Коэффициент формы русла при этом для канала должен быть равен таковому для аналога при расходе последнего, равном для канала. Аналог подразумевается с устойчивыми формами русла, источником информации служат натурные данные гидрологических ежегодников по бассейнам, где пройдет трасса канала.

Международный стандарт по измерению расхода в открытых потоках методами исследования поля скоростей ИСО 748-73 основой для измерения считает произведение скорости на площадь, т.е. $Q = \Sigma U \Delta \omega$, где U – произвольная точечная скорость на элементарной площадке $\Delta \omega$ живого сечения ω .

Учитывая это, можно представить следующие варианты приближенного определения расхода, включая известные зависимости с коэффициентами K_1 и K_2 отношениями средней скорости по сечению (v) к средней скорости на поверхности ($v_{нов}$) и средней по сечению к наибольшей по поверхности (V), где: BH – фиктивная площадь сечения (в m^2), BV – величина с размерностью удельного расхода $hv = Q/B$ в m^2/c и HV – величина, пропорциональная удельному расходу

$$Q = \begin{cases} K_1 \omega v_{нов}, & K_1 = v/v_{нов} \\ K_2 \omega V, & K_2 = v/V \\ K_3 BHV, & K_3 = Q/BHV \\ K_4 BH, & K_4 = Q/BH \\ K_5 BV, & K_5 = Q/BV \\ K_6 HV, & K_6 = Q/HV \end{cases}$$

Числовые значения размерных коэффициентов в этих формулах подлежат определению для конкретных типовых случаев рек и ручьев. Так, для верхних плесов Енисея и его протоков с галечно-гравелистым и малоразмываемым руслом $K_4 = 1,50$ м/с, $K_5 = 4,0$ м, $K_6 = 16,7$ м. Последние три зависимости по определению расхода удобно распространять на правильные русла до выхода потока на пойму. Погрешность вычислений

$$\Delta Q = \begin{cases} \left(\frac{Q_{е.ж} - Q_k^-}{Q_{е.ж}} \right) \cdot 100\% \\ \left(1 - \frac{Q_k^-}{Q_{е.ж}} \right) \cdot 100\% \end{cases},$$

где $Q_{е.ж}$ – расходы, приводимые в Гидрологических ежегодниках и принимаемые за контрольные величины; Q_k^- – расходы, вычисленные по предлагаемым здесь формулам при среднеарифметических значениях коэффициентов K с индексами 3, 4, 5 и 6.

Рост водопотребления и развитие промышленности в Красноярском крае [3] потребовали решения проблемы отыскания рациональных способов забора воды из поверхностных источников. В этой связи актуальна задача совершенствования известных решений и разработка принципиально новых конструкций водоприемников для условий шугоносных сибирских рек. Одним из методов повышения надежности, в частности борьбы с шуголедовыми осложнениями, а также обеспечения надежной рыбозащиты является снижение малых скоростей на входе в водоприемнике, вплоть до 0,1-0,05 м/с. Необходимым является и создание равномерности распределения удельных расходов вдоль развитого водоприемного фронта в режимах забора и промывки обратным током. Это ставит вопрос о целесообразности применения на реках Сибири водоприемников с различными вихревыми камерами и водоприемными отверстиями, оборудованными фильтрующими рыбозащитными устройствами, удовлетворяющих эти требования. Действующие типовые проекты пока ограничены производительностью водозабора 1,5 м³/с на одну самотечную трубу, а суммарная длина водоприемника при этом достигает 5065 м, что не всегда приемлемо для местных условий водоема.

В Санкт-Петербургском государственном архитектурно-строительном университете сотрудниками кафедры водоснабжения были предложены оголовки с увеличенной площадью водоприема при малых габаритах водозабора, что дает возможность использования новых решений при реконструкции. Отличие разработанных конструкций от известных заключается главным образом в конфигурации входных устройств, которым придается объемная сегментная форма. Съёмные фильтрующие кассеты, выдвинутые в поток цилиндрической или колоидальной поверхностью, устанавливаемой вдоль или поперек направления потока, позво-

ляют увеличить площадь водоприемных окон до 2–2,5 раза. Предлагаемые водоприемники с открытыми вихревыми камерами, с сегментными фильтрами на входе (заполнение керамзитобетоном, тополимербетоном) имеют достаточно широкие пределы применения и допускают различные конструктивные исполнения для любых гидрологических условий, диапазонов производительностей. Забор воды из рек с недостаточными глубинами с малыми скоростями течения в межень период года, в т.ч. водоемов ($v \leq 0,1$ м/с, $H = 3–4$ м), осуществляется объемными фильтрами с цилиндрической поверхностью, ограниченной сверху и снизу сегментными козырьками, позволяющими селективно отбирать воду из средних слоев потока. При увеличенных скоростях $0,1 < v < 0,40,1$ м/с, во избежание появления зон повышенного давления с верховой по течению стороны выпуклых в поток касет, регулирование распределения удельных расходов бокового притока осуществляется переменной степенью выпуклости касет по длине камеры. Следует отметить, что более равномерное втекание достигается поворотом водоприемной грани к направлению транзитного течения ($\gamma \div 15^\circ$), при этом предпочтителен односторонний забор, не «реагирующий» в отличие от двухстороннего на несимметричное обтекание. Для обеспечения надежной эксплуатации при наличии поверхностной шуги входные устройства целесообразнее выполнять с коноидальной водопроницаемой поверхностью, скошенной под острым углом к потоку и ограниченной сверху козырьком. Для более полного использования фильтрующей поверхности рекомендуется блок касет, устанавливаемый вдоль потока по всей длине камеры, разделенной на отдельные панели ребрами жесткости. Конструкция с двухсторонним забором воды обеспечивает равномерность втекания по длине фронта практически при любых скоростных режимах, но требует более значительных глубин, строгой ориентации водоприемной грани в потоке, а также нашивки клинообразного элемента при $v > 0,15$ м/с со стороны верхового бокового козырька.

Результаты детальных лабораторных исследований предлагаемых конструкций используются при разработке типового проекта «Затопленные водоприемники с рыбозащитными устройствами производительностью 1–3 м³/с». Рекомендации по проектированию и расчету вихревых водозаборных камер увеличенной производительности использованы в проекте реконструкции внеплощадочного водоснабжения Ирша-Бородинского угольного разреза в Красноярском крае.

Таким образом, проведенное исследование позволило разработать методы проектирования водозаборных сооружений меньшей трудоемкости без привлечения результатов дорогостоящих натуральных измерений.

Список литературы

- [1] Турутин Б.Ф. Проектирование и расчет водозаборных сооружений из подземных источников / ред. В.А. Кулагин, В.М. Журавлев. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. 223 с.
- [2] Матюшенко А.И., Турутин Б.Ф. Водозаборы подземных вод / ред. В.А. Кулагин, В.М. Журавлев. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. 248 с.
- [3] Матюшенко А.И., Турутин Б.Ф., Лютов А.В. Комплексное использование водных ресурсов (Восточно-Сибирские регионы) / ред. Б.Ф. Турутин. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. 300 с.
- [4] Турутин Б.Ф., Матюшенко А.И. Термика инфильтрационных сооружений. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002. 208 с.