

М.С. ПАЛИИВЕЦ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

АНАЛИЗ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕСТНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ШАРОВОМ КРАНЕ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ

В статье приведен анализ и экспериментальные результаты исследований местных гидравлических потерь в шаровом кране при регулировании. Представлена зависимость коэффициентов местных сопротивлений шарового крана Bugatti Ду-20 мм от числа Рейнольдса $\zeta = f(Re)$ при различных углах поворота крана α . Произведено сравнение экспериментальных значений коэффициентов местных сопротивлений ζ шарового крана для углов поворота α в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 1,8 \cdot 10^4 \div 3,1 \cdot 10^4$ и значений для полнопроходных регулирующих запорных шаровых кранов с плавающей пробкой и пробкой, закрепленной в опорах, Ду от 50 до 1400 мм при числах Рейнольдса $Re \geq 2 \cdot 10^4$, а также с данными справочной литературы для затвора (шарового) со сферическим диском, расположенным в сети прямой трубы при числах Рейнольдса $Re > 10^4$. Уточнена и показана численная картина распределения скорости и полного давления в исследуемом шаровом кране. Представлена эмпирическая зависимость значений коэффициентов сопротивления шарового крана при различных значениях угла поворота крана $\zeta = f(\alpha)$ в автомобильной области сопротивлений.

Местные потери напора, гидравлически короткий напорный трубопровод, коэффициент местного сопротивления, число Рейнольдса, угол поворота шарового крана, расход жидкости в трубе, скорость потока.

Введение. Гидравлические потери напора в трубопроводных системах обычно подразделяются на два вида:

- потери напора по длине, возникающие вследствие трения вдоль прямолинейных отрезков труб;

- местные потери, возникающие в результате преодоления местных сопротивлений (при сопротивлениях в арматуре, различных фасонных частях и оборудовании, сужениях и расширениях потока, изменениях направления движения жидкости, слияниях и разделениях потоков (в отводах, тройниках), различных вентилей, кранов, задвижек и т.д.).

Гидравлические потери представляют собой сумму потерь по длине и местных потерь. Потери по длине (на трение) определяются с помощью формул, полученных в результате теоретических или лабораторных исследований. Определение местных потерь является более сложной задачей, когда доступными являются только справочные или экспериментальные данные. Существует большое разнообразие элементов (арматуры) трубопроводных систем, причины возникновения местных сопротивлений также весьма сильно отличаются друг от друга. Структура потока за местным сопротивлением может быть довольно сложной, следовательно,

ограниченным является применение справочных и экспериментальных данных.

Значения местных потерь напора в наружных трубопроводных системах составляют не более 10-15%, а во внутренних трубопроводных системах – порядка 30% от потерь напора по длине (на трение).

Значения коэффициентов местных сопротивлений запорных и регулирующих устройств зависят от конструктивного исполнения сопротивления, которое определяют прямолинейность потока, постоянство поперечного сечения в нем. Качество изготовления внутренней поверхности также оказывает влияние на значения коэффициента сопротивления.

Сопротивление шаровых кранов при регулировании характеризуется сжатием потока, после которого происходит его расширение. Кроме сужений и расширений, могут происходить сложные повороты потока. Это связано как с местным повышением скоростей, так и с отрывами потока, с образованием зон обратного течения, что приводит к увеличению сопротивления.

При напорном турбулентном движении в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = 10^4 \div 10^5$ значения коэффициентов местных сопротивлений ζ зависят в основном от геометрии потока, и силы вязкости практически не влияют

на значения этих коэффициентов. По рекомендациям А.Д. Альтшуля, для местных сопротивлений трубопроводов, в которых происходит сужение потока, с его последующим расширением автомодельная зона начинается с чисел Рейнольдса $Re \geq 10^4$ [1].

В дальнейшем будут исследованы потери на местных сопротивлениях – таких, как шаровый кран, фитинги, тройники, колена, отводы, поэтому следует обозначить границы области их автомодельности по числу Рейнольдса. Для шарового клапана, по данным Левкоевой, начало автомодельной области соответствует $Re = 1,4 \cdot 10^4$ [1]. Поэтому при проектировании и расчете трубопроводов водоснабжения требуется учитывать значения экспериментально полученных коэффициентов местных потерь напора на коротком участке трубопровода для повышения точности гидравлического расчета. Это является **актуальной задачей** обеспечения технических требований при монтаже и эксплуатации местных сопротивлений в напорных трубопроводах.

Материал и методы исследований. На гидравлической установке (рис. 1) были выполнены гидравлические экспериментальные исследования потерь напора по длине и в шаровом кране Bugatti $Dy-20$ мм, представляющем собой запорно-регулирующее устройство, которое используется в системах водо-, газо- и теплоснабжения. В данном экспериментальном исследовании определялись местные потери напора при турбулентном течении в шаровом кране Bugatti $Dy-20$ мм гидравлически короткого напорного трубопровода VALTEC с внутренним диаметром $d = 20$ мм 2,0 PN25. Гидравлическая установка (рис. 1) начиналась от напорного бака, вода от которого проходила через вихревой насос РКм 60 к выходному патрубку насоса, через колена и фитинги присоединялась выровненная по горизонту лазерным уровнем металлопластиковая труба VALTEC20 2,0 PN25 Class 5/10bar ISO 21003 ГОСТ Р 53630-2015. Общая длина установки составила: $l = 517,75d = 10,355$ м.



Рис. 1. Гидравлическая установка

Перед началом каждой серии экспериментов до выполнения замеров гидравлическая установка работала в течение короткого промежутка времени, чтобы обеспечить установившийся характер движения водного потока. Длительность работы гидравлической установки до начала установившегося движения потока, после которого можно было приступать к эксперименту и записи показаний с измерительных манометров в единицах (bar), составляла около 15-30 мин между замерами.

Далее последовательно на коротком участке трубопровода были установлены первый манометр VIEIR, шаровый кран Bugatti $Dy-20$ мм и манометры по трассе для замера местных потерь давления в единицах

(bar) за шаровым краном после выравнивания потока при регулировании угла поворота. Для измерения расхода в концевой части гидравлической установки устанавливался расходомер ВКМ-20.

Для напорного трубопровода с диаметром d , зная измеренный расходомером расход Q , проходящий через живое сечение трубы, можно вычислить площадь сечения и среднюю скорость:

$$\omega = \frac{\pi d^2}{4}; \quad (1)$$

$$V = \frac{Q}{\omega} \quad (2)$$

В начале проведения соответствующей серии опытов при изменении угла α производился замер температуры воды в напорном баке с помощью ртутного термометра с минимальной шкалой $0,5^\circ\text{C}$, диапазон температур в летнее время изменялся от 24 до $28,5^\circ\text{C}$, по температуре воды рассчитывались коэффициент кинематической вязкости и число Рейнольдса:

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu}, \quad (3)$$

где V – скорость потока, м/с; d – внутренний диаметр, м; ω – площадь живого сечения, м^2 ; Q – расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$; ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$ (с учетом температуры воды).

Экспериментально коэффициент местных потерь напора ζ определялся на участке напорного трубопровода в шаровом кране по схеме (рис. 2). Местная потеря напора была определена для известных ω и V [2]:

$$h_{\text{кр}} = \zeta \frac{V^2}{2g}, \quad (4)$$

где V – скорость потока жидкости, м/с; $h_{\text{кр}} = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_2}{\rho g}$ – потеря напора в шаровом кране (до местного сопротивления и после выравнивания потока за местным сопротивлением, м); g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$.

Основной вопрос, поставленный при производимых экспериментальных исследова-

ниях, – изучение гидравлических режимов и экспериментальное определение коэффициентов местных сопротивлений.

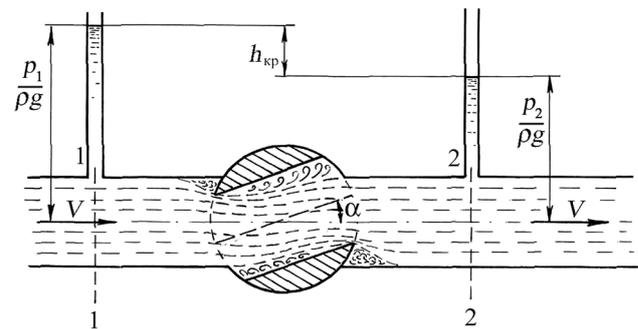


Рис. 2. Схема к определению местной потери напора в шаровом кране

Результаты и обсуждение. Сначала проводились эксперименты, с помощью которых определяли значения коэффициентов сопротивления шарового крана ζ при различных значениях угла поворота крана α , не изменяя величины расхода жидкости в трубе. После проведения ряда экспериментов при одном и том же расходе жидкости в трубе, но при различных значениях угла поворота α , продолжали опыты при разных расходах жидкости в трубе, что позволяло проследить и за изменением коэффициента местных сопротивлений ζ в зависимости от Re и средней скорости потока V в диапазоне $\text{Re} = 1,8 \cdot 10^4 \div 3,1 \cdot 10^4$ (рис. 3).

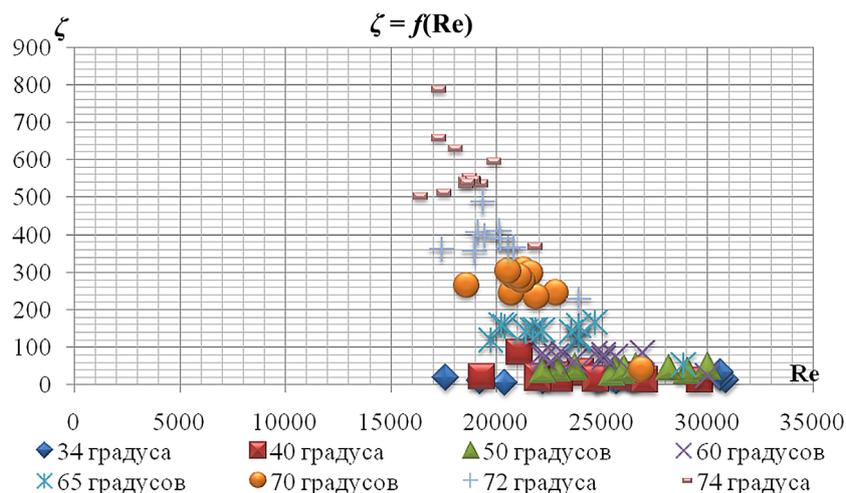


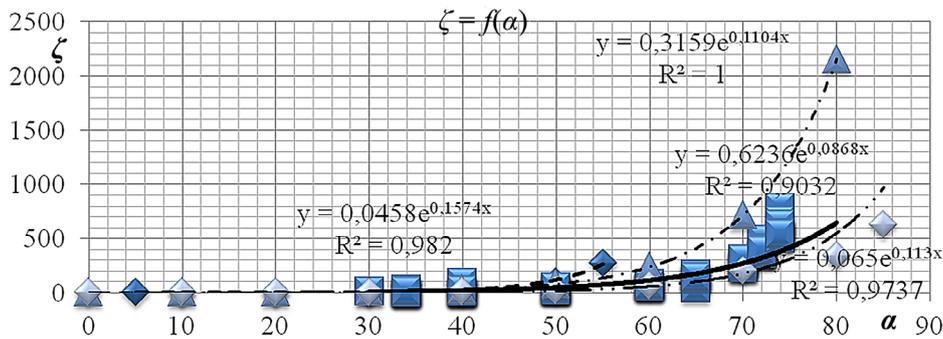
Рис. 3. Зависимость коэффициентов местных сопротивлений шарового крана Bugatti от числа Рейнольдса $\zeta = f(\text{Re})$ при различных углах поворота крана α

При проведении исследований необходимо было проверить условия воспроизводимости эксперимента. Зависимости коэффициентов сопротивления от угла поворота

затвора (шарового) со сферическим диском известны для чисел $\text{Re} > 10^4$. Проверка заключалась в сравнении экспериментальных данных, полученных при гидравлических

исследованиях, с результатами исследований для затвора (шарового) со сферическим диском в справочной литературе по аналогичным типам кранов, расположенных в сети прямой трубы ($Re > 10^4$) [3], и данными по РД РТМ 26-07-25-83 для полнопроходных регулирующих запорных шаровых кранов с плавающей пробкой и пробкой, закрепленной в опорах Dy от 50 до 1400 мм ($Re \geq 2 \cdot 10^4$) [4].

Сравнение коэффициентов местных сопротивлений исследуемого шарового крана и затвора (шарового) со сферическим диском для диапазона чисел Рейнольдса $Re = 1,8 \cdot 10^4 \div 3,1 \cdot 10^4$ для углов поворота крана α показало согласованность с данными научной литературы (рис. 4), следовательно, эксперимент был выполнен в условиях воспроизводимости [5].



- ◆ $\zeta = f(\alpha)$ – кран в сети цилиндрический (справочник по гидравлическим и вентиляционным системам под ред. А. С. Юрьева), $Re > [10]^4$
- $\zeta = f(\alpha)$ – экспериментальные данные для шарового полнопроходного крана Bugatti, $Re > (1,8 \dots 3,1) \cdot [10]^4$
- ▲ $\zeta = f(\alpha)$ – справочные данные по РД РТМ 26-07-254-83, $Re \geq 2 \cdot [10]^4$ (область автомодельности)
- ◆ $\zeta = f(\alpha)$ – затвор шаровой со сферическим диском, установленным в сети (справочник по гидравлическим и вентиляционным системам под ред. А. С. Юрьева), $Re > [10]^4$

Рис. 4. График зависимости $\zeta = f(\alpha)$, сравнение данных научной литературы и справочных данных с экспериментальными данными при $Re > 10^4$

Результаты точности гидравлических измерений определялись по ГОСТ [6]. Эксперименты были выполнены в условиях воспроизводимости и повторяемости. Ввиду того, что систематические и случайные ошибки определения коэффициента местного сопротивления сопоставимы, находили суммарную абсолютную ошибку. Суммарная относительная ошибка определения коэффициента местных сопротивлений составляла 3% (для доверительной вероятности 95%).

Научная новизна. Научная новизна заключается в экспериментальном определении коэффициентов местных потерь напора в шаровом кране Bugatti Dy -20 мм, а также в численном определении и уточнении картины течения жидкости в местном сопротивлении (рис. 5), в получении эмпирической зависимости коэффициента местных сопротивлений шарового крана от угла поворота крана α и безразмерного числа Рейнольдса для квадратичной зоны гидравлических сопротивлений (рис. 6) и последующего экспериментального получения коэффициентов местных потерь напора

в узлах с такими сопротивлениями, как фитинги, тройники, колена, отводы в зоне их взаимного влияния.

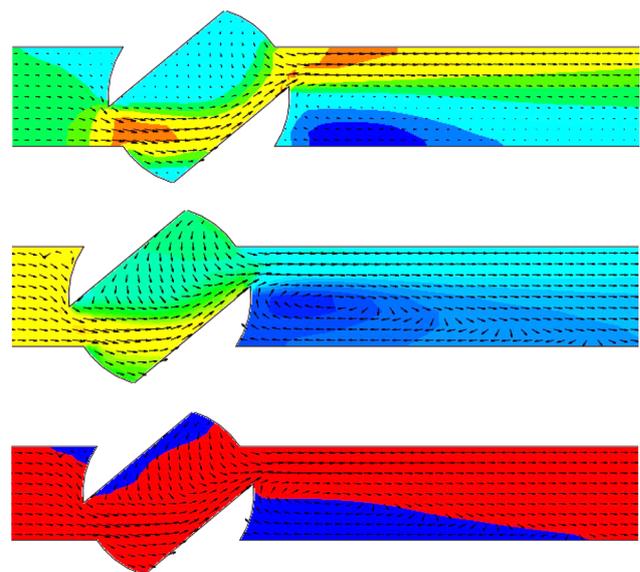


Рис. 5. Картина распределения скорости в скалярной и векторной форме и полного давления в шаровом кране с углом поворота $\alpha = 40^\circ$

При решении гидравлической задачи численным методом, используемым как в гидравлических расчетах, так и расчетах динамического воздействия [7], пакет STAR-CD позволил с высокой точностью определить местные потери давления, картину течения на участке шарового крана трубопроводной

системы и уточнить зону его влияния в соответствии с правилами проектирования [8].

На рисунке 5 красный цвет означает положительные значения скорости синий цвет – отрицательные значения скорости, то есть области синего цвета – это зона обратного течения.

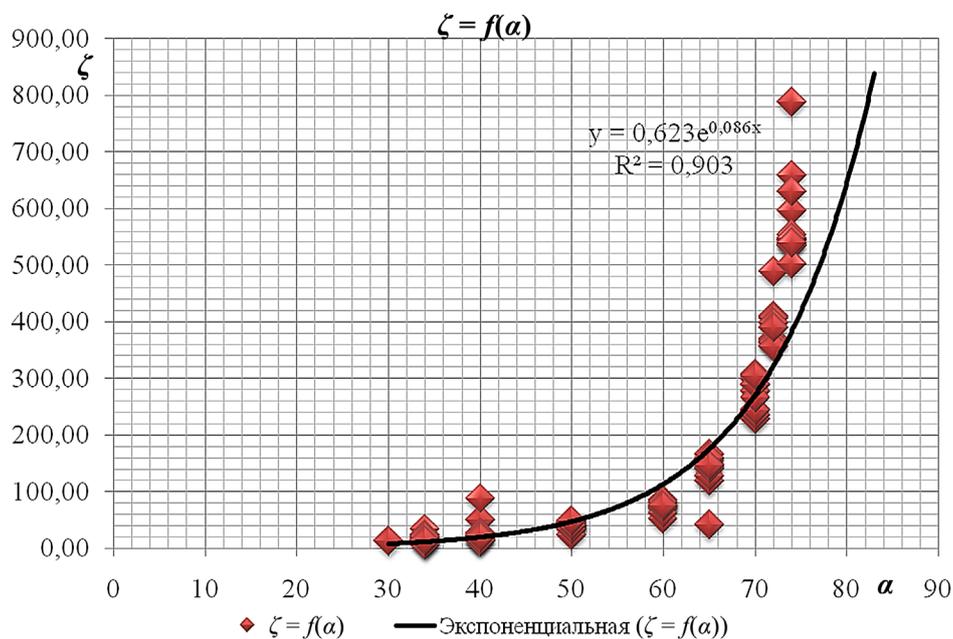


Рис. 6. График зависимости $\zeta = f(\alpha)$:

α – угол поворота шарового крана Bugatti в градусах

Выводы

По экспериментальным гидравлическим исследованиям потерь напора по длине и местных потерь в шаровом кране Bugatti $Dy-20$ в гидравлически коротком металлопластиковом трубопроводе VALTEC ISO 21003 получены графики зависимостей коэффициента местных сопротивлений шарового крана от угла поворота крана α и безразмерного числа Рейнольдса для квадратичной зоны гидравлических сопротивлений. Уточнена также численная картина течения потока через исследуемое местное сопротивление. Получена экспериментальная статистически достоверная зависимость значений коэффициентов сопротивления шарового крана при различных значениях угла поворота крана с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9032$ – $\zeta = 0,6236 \cdot e^{0,0868 \cdot \alpha}$.

На основе экспериментально полученной зависимости могут быть получены коэффициенты местных потерь напора узлов местных сопротивлений при их совместной работе с другими сопротивлениями (фитинги, тройники, колена, отводы и т.п.) в зоне их влияния (в автомобильной области

сопротивлений), а также выполнены гидравлические расчеты с такими местными сопротивлениями в напорных трубопроводных системах и дополнены соответствующие рекомендации при монтаже трубопроводов с местными сопротивлениями в зоне их взаимного влияния и местных сопротивлений на них в соответствии с правилами проектирования.

Библиографический список

1. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления: учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1982. – 224 с.
2. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник. 5-е изд., стер. – СПб.: Изд-во «Лань», 2015. – 656 с.: ил.
3. Справочник по расчетам гидравлических и вентиляционных систем / И.Г. Грачев, В.М. Низовцев, С.Ю. Пирогов и др. под ред. А.С. Юрьева. – СПб.: АНО НПО «Мир и семья», 2001. – 1154 с.
4. РД РТМ 26-07-25-83. Гидравлические характеристики и методика расчета гидродинамических моментов шаровых регулирующих и запорных кранов. Взамен РТМ

26-07-167-73. СТП 07-81-545-80. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084335>.

5. Снежко В.Л., Палиивец М.С. Кинематическая структура потока и гидравлические сопротивления узла «регулируемая задвижка-тройник» в напорном водоводе // Природообустройство. – 2010. – № 2. – С. 54-59.

6. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Использование значений точности на практике. Введ. 2002-04-23. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 43 с.

7. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В., Коваль С.В. Численное исследование динамического воздействия на грунтовую

плотину // Природообустройство. – 2020. – № 3. – С. 78-85.

8. СП 40-103-98. Проектирование и монтаж трубопроводов систем холодного и горячего водоснабжения с использованием металлополимерных труб. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200001315>.

Материал поступил в редакцию 06.11.2020 г.

Сведения об авторе

Палиивец Максим Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные технологии в АПК» ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Б. Академическая, 44; maxim6663@mail.ru

M.S. PALIIVETS

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after S.A. Timiryazev», Moscow, Russian Federation

THE ANALYSIS AND EXPERIMENTAL ASSESSMENT OF LOCAL HYDRAULIC LOSSES IN THE BALL CRANE UNDER REGULATION

In the article there is given an analysis and experimental results of researches of local hydraulic losses in a ball valve at regulation, there is given the dependence of coefficients of local resistances of the ball valve of Bugatti $D_y = 20$ mm from Reynolds number $\zeta = f(Re)$ at various angles of rotation of the crane α . Experimental values of local resistivity coefficients of a ball crane for rotation angles α in the Reynolds number range $Re = 1,8 \cdot 10^4 \div 3,1 \cdot 10^4$ and values for full-pass control locking ball cranes with a floating plug and a plug fixed in supports D_y from 50 to 1400mm at Reynolds numbers $Re \geq 2 \cdot 10^4$, as well as with reference literature data for the gate were compared (ball) with a spherical disk located in a straight pipe network at Reynolds numbers $Re > 10^4$. The paper clarifies and shows the numerical picture of velocity and full pressure distribution in the ball valve under investigation. The empirical dependence of values of resistance coefficients of the ball crane at different values of crane rotation angle $\zeta = f(\alpha)$ in auto-model resistance region is presented.

Local head loss, hydraulically short pressure pipeline, local resistance coefficient, Reynolds number, ball valve rotation angle, fluid flow rate in the pipe, flow rate.

References

1. Altshul A.D. Gidravlicheskie soprotivleniya: uchebnyk, 2-e izd., pererab i dop. / A.D. Altshul. – М.: Nedra, 1982. – 224 s.

2. Shterenliht D.V. Gidravlica: uchebnyk. 5-e izd., ster. – SPb.: Izd-vo «Lan», 2015. – 656 s.: il.

3. Spravochnik po raschetam gidravlicheskih i ventilyatsionnyh system / I.G. Grachev, V.M. Nizovtsev, S.Yu. Pirogov. Pod red. A.S. Yurjeva. – SPb.: ANO NPO «Mir i semya», 2001. – 1154 s.

4. PD RTM 26-07-25-83. Gidravlicheskie harakteristiki i metodika rascheta gidrodinamicheskikh momentov sharovykh reguliruyushchih i zapornykh kranov. Vzamen RTM 26-07-167-73. СТП 07-81-545-80. <http://docs.cntd.ru/document/1200084335>

5. Snezhko V.L., Paliivets M.S. Kinematicheskaya struktura potoka i gidravlicheskie soprotivleniya uzla «reguliruemaya zadvizhka-trojnik» v napornom vodovode // Prirodobustroystvo. – 2010. – № 2. – S. 54-59.

6. ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002. Tochnost (pravilnost i pretsizionnost) metodov i rezultatov izmerenij. Ispolzovanie znachenij tochnosti na praktike. – Vved. 2002-04-23. – М.: Izd-vo standartov, 2002. – 43 s.

7. Zharnitsky V.Ya., Andreev E.V., Koval S.V. Chislennoe issledovanie dinamicheskogo vozdeystviya na gruntovuyu plotinu // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 3. – S. 78-85.

8. SP 40-103-98. Proektirovanie i montazh truboprovodov system holodnogo i goryachego vodosnabzheniya s ispolzovaniem metallopolimernyh trub. <http://docs.cntd.ru/document/1200001315>

The material was received at the editorial office
06.11.2020

Information about the authors

Paliivets Maxim Sergeevich, candidate of technical sciences of the department «Information technologies in AIC» FSBEI HE RSAU-MAA named after S.A. Timiryazev; 127550, Moscow, B. Academicheskaya, 44; maxim6663@mail.ru

УДК 502/504:551.585

DOI 10.26897/1997-6011/2020-5-88-95

Г.Х. ИСМАЙЛОВ, Н.В. МУРАЩЕНКОВА, И.Г. ИСМАЙЛОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ СЛОЖНОФОРМИРУЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА (СУММАРНОГО ИСПАРЕНИЯ И ВЛАГОЗАПАСОВ) РЕЧНОГО БАССЕЙНА

Рассматриваются определение суммарного испарения и изменение бассейновых влагозапасов при заданных величинах годовых и сезонных значений атмосферных осадков и речного стока за многолетний период гидрометеорологических наблюдений. В практике инженерной гидрологии наиболее распространенным подходом к определению суммарного испарения с использованием лишь данных по стоку и осадкам является его оценка по разности суммарных атмосферных осадков и речного стока. Делается допущение, что изменение влагозапасов для средних и крупных речных бассейнов за достаточно длительный период близко к нулю. Разработана методика, которая позволяет при определении суммарного годового испарения с поверхности суши и водоемов учесть изменение бассейновых запасов влаги, так как в реальных условиях сформированные бассейновые влагозапасы предыдущего периода участвуют в формировании как речного стока, так и суммарного испарения следующего периода. В качестве основного математического инструмента используется корреляционное уравнение, связывающее рассматриваемые элементы водного баланса. Получены уравнения, определяющие долю бассейновых запасов влаги, участвующих в формировании речного стока, и суммарного испарения. Предлагаются уравнения связи стока с осадками и с изменением годовых влагозапасов с долей запасов влаги, участвующих в формировании речного стока. Уравнения позволили оценить значения суммарного испарения и запасов влаги в бассейне применительно к бассейну Дона. Получены уравнения зависимости речного стока от суммарных атмосферных осадков Донского бассейна. В качестве исходного гидрометеорологического материала использованы данные Государственного водного кадастра, ресурсов поверхностных вод и гидрологических ежегодников, а также данные наблюдений информационно-справочных систем – таких, как сайт Всесоюзного научно-исследовательского института гидрометеорологической информации: Мировой центр данных (www.meteo.ru). В результате сопряженного временного анализа элементов водного баланса бассейна реки Дон установлено, что в бассейне преобладает влияние природных факторов, участвующих в формировании речного стока.

Речной сток, атмосферные осадки, суммарное испарение, запасы влаги в бассейне, влагозапасы, годовой сток, водный баланс, речной бассейн.

Введение. С точки зрения бассейново-ландшафтного подхода территорию бассейна реки можно рассматривать как

ландшафтную систему, структуру которой формируют частные водосборы реки и ее притоки. Каждая территория водосбора