

УДК 556.3: 519.876

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ОБЪЕМНОГО РАСХОДА ВОДОТОКА РОДНИКА

Мазуркин П.М., Тарасова Е.И.

*Поволжский государственный технологический университет,
Йошкар-Ола, e-mail: kaf_po@mail.ru*

Способ относится к гидрологии суши и инженерной экологии, может быть использовано при экологическом мониторинге антропогенных воздействий на загрязнение родников. Выявлены биотехнические закономерности динамики в реальном режиме времени по суткам два основных показателя (как и в прототипе, период наполнения мерного сосуда и объемный расход родниковой воды), но применительно не к роднику в целом, а только к его отдельным водотокам. Разделение родника на естественные водотоки позволяет расширить функциональные возможности способа и повысить точность измерений. Впервые способ позволяет проводить фундаментальные гидрометрические измерения родника в гидрологической структуре его водотоков. Повышение точности измерений по времени наполнения мерного сосуда секундомером и расчета объемного расхода воды каждым водотоком родника обеспечивается измерениями в реальном режиме времени.

Ключевые слова: родник, водотоки, мерный сосуд, время наполнения, измерение, расход, динамика водотока, закономерности

WAY OF MEASUREMENT AND DYNAMICS ANALYSIS VOLUME EXPENSE OF A WATERWAY A SPRING

Mazurkin P.M., Tarasova E.I.

Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru

The method belongs to a hydrology of a land and engineering ecology, can be used at environmental monitoring of anthropogenous impacts on pollution of springs. Biotechnical regularities of dynamics in a real mode of time on days two main indicators (as well as in a prototype, the period of filling of a measured vessel and a volume consumption of spring water), but applicable not to a spring as a whole, but only to its separate waterways are revealed. Division of a spring into natural waterways allows to expand functionality of a way and to increase accuracy of measurements. For the first time the way allows to carry out fundamental hydrometric measurements of a spring in hydrological structure of its water currents. Increase of accuracy of measurements on time of filling of a measured vessel a stop watch and calculation of a volume consumption of water by each waterway of a spring is provided with measurements in a real mode of time.

Keywords: spring, waterways, measured vessel, filling time, measurement, expense, dynamics of a waterway, regularity

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований была составлена заявка на предполагаемое изобретение.

Патентное исследование в определенной технической области направлено на выявление, группировку и изучение патентных документов (опубликованных заявок или патентов), которые оформлены государственными ведомствами для охраноспособных результатов НИОКР и фактически каждый патент удостоверяет какое-либо новое техническое решение. Массив патентных документов структурируется в соответствии с Международным патентным классификатором (МПК) и был выбран раздел: Раздел G – физика.

На http://www1.fips.ru/wps/portal/IPC/IPC2012_extended_XML/ сайта Роспатента ФИПС были определены группы технических решений по МПК⁸ (восьмой редакции):

G01F7/00 – измерение объема, объемного расхода... с несколькими интервалами измерений;

G01N33/18 – исследование или анализ воды особыми способами.

Научно-техническое решение относится к гидрологии суши и инженерной экологии, может быть использовано при экологическом мониторинге антропогенных воздействий на изменение загрязнения родников, а также при мониторинге за гидрологической структурой, на основе измерений и анализа динамики времени наполнения мерного сосуда и объемного расхода воды отдельными водотоками родника, для обосновании мероприятий по защите природной среды на местности с родниками и ландшафтного обустройства территории охранной зоны и земельного участка облагораживаемого родника.

Известен способ измерения объемного расхода или дебита родника (см. брошюру: Методика составления экологического паспорта родника. URL: <http://www.edu.yar.ru/russian/projects/spring/metod.html> (дата обращения 17.11.2012)). Дебит источника – это его мощность, то есть возможный расход воды. Он определяется следующим образом. При отсутствии у родника желоба, по которому стекает вода, лопатой делается углубление на дне. В срез углубления вдав-

ливается кусок жести, согнутой в форме желоба. Под желоб ставится стеклянная банка емкостью 1 литр, и по секундомеру вычисляется время заполнения банки водой.

Следует вычислить расход воды:

- а) за 1 час;
- б) за сутки.

Недостатком аналога является представление родника как одного целостного водотока. Причем этот недостаток исходит из существующего стандарта СНиП 2.04.02-84 «Строительные нормы и правила» раздела «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» (дата введения 1985-01-01). В требованиях «Каптаж родников» записано:

5.54. Каптажные устройства (водосборные камеры или неглубокие опускные колодцы) следует применять для захвата подземных вод из родников.

5.55. Захват воды из восходящего родника следует осуществлять через дно каптажной камеры, из нисходящего – через отверстия в стене камеры.

5.60. При наличии вблизи нисходящего родника нескольких выходов воды каптажную камеру следует предусматривать с открылками.

Таким образом, существующие способы измерения объемного расхода родника предусматривают наличие у облагоженного родника каптажного устройства. Поэтому в сознании исследователя автоматически появляется облик родника как цельного устройства с общим расходом воды.

Известен также способ измерения расходов воды источников (см. книгу: Давыдов Л.К. Глава VI. Гидрологические исследования рек // Обручев С.В. Справочник путешественника и краеведа. Том II. URL: http://www.outdoors.ru/book/obruchev/cp/cp_kr_t2_gl6.php (дата обращения 17.11.2012), содержащий последовательность действий без учета каптажного устройства и учитывающий измерения и на не облагоженных родниках.

«Для определения расхода воды объемным способом нужны: протарированный мерный сосуд (кружка, ведро), секундомер и металлический лоток–желоб. Назначение последнего в том, чтобы воду источника собрать в мерный сосуд. Участок для измерения дебита источника следует выбрать как можно ближе к выходу его на поверхность, там, где вода протекает в суженном русле, имеющем перепад или же крутое падение, так как в таком месте удобно установить лоток для отвода воды в мерный сосуд.

Если источник имеет несколько выходов, расположенных независимо друг от

друга, то рекомендуется предварительно соединить все выходы в один поток. Следует применять мерные сосуды такой емкости, чтобы они заполнялись не быстрее 5 секунд. Время наполнения сосуда определяется по секундомеру. Дебит щеточника вычисляется по формуле: $q = Q/t$, где q – дебит источника в л/с; Q – объем мерного сосуда в литрах; t – время заполнения мерного сосуда в секундах».

Достоинством является то, что прототип является наиболее простым способом измерения дебита источников.

Основным недостатком является то, что объемный метод применяется при сравнительно небольших расходах источника (не свыше 3–4 литров в секунду). При больших расходах пользуются поплавками, либо вертушкой.

Этот недостаток прототипа, исходит снова, как и в аналоге, из представления о цельности гидрологической структуры родника и его параметра по объемному расходу родниковой воды. На это указывает фраза «Если источник имеет несколько выходов, расположенных независимо друг от друга, то рекомендуется предварительно соединить все выходы в один поток». Такое упрощение гидрологической структуры сложного родника еще до начала проведения измерений исходит из потребительской концепции, когда родник понимается единственно как хозяйственный объект для эксплуатации на водопотребление человеком. До предлагаемого научно-технического решения принципы динамического представления родника как множества отдельных крупных и малых водотоков в гидрологии суши вообще не ставилась. И такая доктрина покорения природных объектов, в нашем случае родников, до сих пор не давало выявлять фундаментальные закономерности динамики в реальном режиме времени у объемного расхода отдельного водотока родника как физической величины.

Технический результат – повышение точности измерений и анализа динамики естественного поведения родника по его отдельному водотоку, а также расширение функциональных возможностей предлагаемого способа, на основе выявления биотехнических закономерностей времени наполнения мерного сосуда и сравнения расхода воды от крупного и мелкого водотока одного родника в реальном режиме времени по суткам.

Сущность технического решения заключается в том, что родник является, как правило, многопоточным и высоко дина-

мичным по гидрометрическим параметрам природным объектом. При этом основное питание родника происходит от подземных вод, круговорот которых протекает в течение десятков лет. В итоге любую территорию с родниками, как показали австралийские ученые, можно отнести к двум группам поведения:

1) антропогенное воздействие в ретроспективе, с момента проведения измерений, на объекте исследования продолжалось значительно меньше 50 лет;

2) к моменту эксперимента загрязнение территории вокруг родника продолжалось намного более 50 лет.

Вначале нужно изучать родники на экологически чистых земельных участках, каким является изученный нами родник. И только затем можно будет перейти к изучению гидрометрических параметров и гидрологических режимов сложных по множеству водотоков родников, находящихся во все более загрязненных земельных участках.

Сущность технического решения заключается также в том, что впервые выявлены биотехнические закономерности динамики в реальном режиме времени по суткам два основных показателя (как и в прототипе, период наполнения мерного сосуда и объемный расход родниковой воды), но применительно не к роднику в целом, а только к его отдельным водотокам. В итоге предлагаемое научно-техническое решение является пионерным, на основе которого окажется возможным проведение новых технически точных экспериментов с погрешностью измерений менее 5%, позволяющих в ближайшем будущем разрабатывать принципиально новые научно-технические решения.

Положительный эффект достигается тем, что разделение родника на отдельные пространственные водотоки (обособленные в пространстве ландшафта выходы подземной воды с разными режимами питания и истечения) позволяет существенно расширить функциональные возможности предлагаемого способа и одновременно значительно повысит точность измерений гидрометрических и гидрологических параметров не только каждого водотока одного родника, но и системы родников на одной местности. Хотя предлагаемый способ требует большего количества измерений и их повторений, а ее математическая обработка гораздо сложнее и трудоемче по сравнению с расчетами средних арифметических величин, но и в условиях территориальной системы водоснабжения и водоотве-

дения ожидается значительный эффект от мониторинга родников и прогнозирования их дебита.

Новизна технического решения заключается в том, что впервые способ позволяет проводить фундаментальные гидрометрические и гидрологические исследования родников в гидрологической структуре их водотоков. Повышение точности измерений по времени наполнения мерного сосуда секундомером и расчета объемного расхода воды каждым водотоком родника обеспечивается динамичными измерениями в реальном режиме времени, что впервые позволяет выявить биотехнические закономерности с колебаниями.

На рисунке приведена схема в виде диаграммы процесса измерений параметров одного водотока родника в реальном режиме времени с условными обозначениями:

τ – текущее время измерений (в сутках или часах) с момента начала первого опыта с не менее 10 повторениями замеров; T – время (период) наполнения мерного сосуда (ведра или ковша), с; $T_{и}$ – время (период) проведения измерений в одном опыте с не менее 10 повторами; $\Delta\tau$ – продолжительность (периодичность) между отдельными опытами; I, II, III, ... – последовательность опытов (сеансов измерений по не менее 10 повторам наблюдений) в реальном режиме времени (линия между опытами условно показывает график закономерности типа $T = f(\tau)$).

Способ измерения и анализа динамики объемного расхода водотока родника включает следующие действия.

Каждый независимый выход родниковой воды принимается за отдельный водоток и как независимый объект измерения времени наполнения мерного сосуда секундомером и вычисления объемного расхода делением объема мерного сосуда на время его наполнения в секундах. Дополнительно измеряют значения текущего времени измерений с момента начала первого опыта до начал последнего опыта в одном эксперименте, продолжительности проведения серии измерений в одном опыте с повторами, а также продолжительности между отдельными опытами по их началам, после проведения всех опытов в одном эксперименте проводят статистическое моделирование и выявляют биотехнические закономерности динамики объемного расхода родниковой воды отдельным водотоком родника.

При использовании в измерениях всех опытов одного эксперимента одного и того

же мерного сосуда с постоянной вместимостью за дополнительный показатель динамики поведения сравниваемых водотоков изучаемого родника принимают время наполнения мерного сосуда. Текущее время измерений с момента начала первого опыта до начала последнего опыта измеряют в часах для выявления закономерностей

динамики расхода водотока в зависимости от влияния обращения Земли вокруг самого себя, то есть в течение нескольких суток, при этом измерения проводят в разное время суток при не менее 10 повторах, причем за продолжительность проведения одной серии измерений в одном опыте с повторами принимают не более чем за 10 минут.

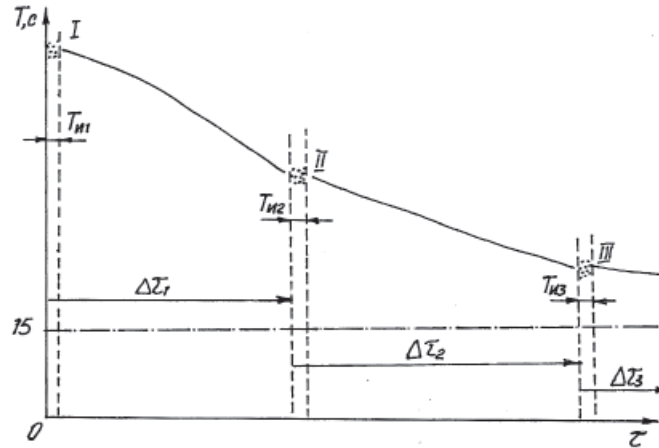


Схема реализации предлагаемого способа

Текущее время измерений с момента начала первого опыта до начала последнего опыта одного эксперимента измеряют в сутках для выявления закономерностей динамики расхода водотока в зависимости от влияния обращения Земли вокруг Солнца, при этом измерения проводят за продолжительность проведения серии измерений в одном опыте с повторами измерения не более чем за 30 минут.

Для измерения расхода воды от водотоков разной мощности у одного и того же родника при грубой точности измерений для ориентировочного анализа отдельных водотоков применяют мерные сосуды такой емкости, чтобы они заполнялись не быстрее пяти секунд, что при реакции человека по 0,3 секунды на включение и отключение секундомера погрешность измерений времени наполнения составляет 0,6 секунды, тогда измерения будут проведены с общей погрешностью измерений не более $100 \cdot 0,6/5 = 12\%$.

Для измерения расхода воды от водотоков разной мощности у одного и того же родника при технической точности измерений для научно достоверного анализа отдельных водотоков применяют мерные сосуды такой емкости, чтобы они заполнялись не быстрее 15 секунд, что при реакции человека по 0,3 секунды на включение и отключение секундомера погрешность измерений времени наполнения составляет

0,6 секунды, тогда измерения будут проведены с общей погрешностью измерений не более $100 \cdot 0,6/15 = 4\%$.

Для измерения расхода воды от водотоков разной мощности у одного и того же родника при высокой точности прецизионных измерений для научно высокоадекватного анализа отдельных водотоков применяют мерные сосуды такой емкости, чтобы они заполнялись не быстрее 50 секунд, что при реакции человека по 0,3 секунды на включение и отключение секундомера погрешность измерений времени наполнения составляет 0,6 секунды, тогда измерения будут проведены с общей погрешностью измерений не более $100 \cdot 0,6/50 = 1,2\%$.

Для повышения адекватности выявляемых биотехнических закономерностей при каждом опыте как сеансе измерений выполняют не менее 10 повторений, при этом среднее арифметическое значение времени наполнения не вычисляют, а все повторения измерений секундомером времени наполнения мерного сосуда и повторения расчетных значений объемного расхода отдельного водотока родника помещают в программную среду, например, типа Curve Expert, для статистического моделирования идентификацией устойчивыми законами и волновыми закономерностями.

Для повышения точности идентификации биотехнических закономерностей по-

ведения отдельного водотока родника по результатам измерений времени наполнения мерного сосуда и расчетных по ней значений объемного расхода родниковой воды в реальном режиме времени по суткам, измерения выполняют в одно и то же время суток, например, в 17 часов по местному времени.

Для выявления сезонного изменения значений времени наполнения мерного сосуда и объемного расхода водотока родника в одном эксперименте режим повторных опытов с требуемыми повторениями измерений принимают с периодичностью не менее один раз в месяц, при этом, для выявления волновых закономерностей колебательного возмущения отдельного водотока родника, общую продолжительность эксперимента принимают не менее двух лет.

Измеренные значения времени наполнения мерного сосуда идентифицируют в виде биотехнической закономерности по формуле:

$$T = T_1 + T_2;$$

$$T_1 = T_0 \exp(a_1 \tau^{a_2}); \quad T_2 = A \exp(\pi \tau / p - a_8);$$

$$A = -a_3 \exp(a_4 \tau^{a_5}); \quad p = a_6 + a_7 \tau,$$

где T – время наполнения мерного сосуда родниковой водой из одного измеряемого водотока, с; T_1 – первая составляющая времени наполнения мерного сосуда, показывающая тенденцию динамики показателя по экспоненциальному закону роста или спада (при отрицательном знаке перед параметром модели a_1), с; T_0 – начальное значение времени наполнения при условии $\tau = 0$, то есть в начале процесса эксперимента, с; T_2 – вторая составляющая колебательного возмущения времени наполнения мерного сосуда родниковой водой из водотока родника, с; A – амплитуда (половина) колебательного возмущения, с; p – период (половина) колебания, сутки; $a_1 \dots a_8$ – параметры статистической модели, получаемые её идентификацией по измеренным данным в программной среде Curve Expert.

Расчетные значения расхода отдельного водотока изучаемого родника идентифицируют в виде биотехнической закономерности по формуле:

$$q = q_1 + q_2;$$

$$q_1 = q_0; \quad q_2 = A \exp(\pi \tau / p - a_5);$$

$$A = a_1 \exp(-a_2 \tau); \quad p = a_3 - a_4 \tau,$$

где q – объемный расход родниковой водой из одного измеряемого водотока в данный

момент измерения, л/с или мл/с; q_1 – первая составляющая объемного расхода водотока родника, показывающая постоянную тенденцию динамики показателя, л/с или мл/с; q_0 – начальное значение объемного расхода водотока при условии $\tau = 0$, то есть в начале процесса эксперимента, л/с или мл/с; q_2 – вторая составляющая колебательного возмущения объемного расхода воды из водотока родника, л/с или мл/с; A – амплитуда (половина) колебательного возмущения, л/с или мл/с; p – период (половина) колебания, сутки; $a_1 \dots a_5$ – параметры статистической модели, получаемые идентификацией в программной среде Curve Expert.

Для анализа динамики общего дебита родника вычисляют суммированием объемных расходов всех водотоков родника по результатам расчетов в программной среде Excel по выявленным биотехническим закономерностям объемного расхода воды водотоков родника.

Для прогнозирования общего дебита родника на период прогноза, не больший или равный продолжительности эксперимента, вычисления проводят по биотехническим закономерностям объемных расходов у каждого отдельного водотока.

Формула предполагаемого изобретения (пп. 1–4)

1. Способ измерения и анализа динамики объемного расхода водотока родника, включающий выбор участка для измерения дебита родника с несколькими выходами родниковой воды, расположенных независимо друг от друга, выбор мерных сосудов такой емкости, чтобы они наполнялись не быстрее 5 секунд, измерение времени наполнения мерного сосуда секундомером, вычисление объемного расхода делением объема мерного сосуда на время его наполнения в секундах, отличающийся тем, что каждый независимый выход родниковой воды принимается за отдельный водоток и как независимый объект измерения времени наполнения мерного сосуда секундомером и вычисления объемного расхода делением объема мерного сосуда на время его наполнения в секундах, при этом дополнительно измеряют значения текущего времени измерений с момента начала первого опыта до начал последнего опыта в одном эксперименте, продолжительности проведения серии измерений в одном опыте с повторами, а также продолжительности между отдельными опытами по их началам, после проведения всех опытов в одном эксперименте проводят статистическое мо-

делирование и выявляют биотехнические закономерности динамики объемного расхода родниковой воды отдельным водоток родника.

2. Способ измерения и анализа динамики объемного расхода водотока родника по п. 1, отличающийся тем, что при использовании в измерениях всех опытов одного эксперимента одного и того же мерного сосуда с постоянной вместимостью за дополнительный показатель динамики поведения сравниваемых водотоков изучаемого родника принимают время наполнения мерного сосуда.

3. Способ измерения и анализа динамики объемного расхода водотока родника по п. 1, отличающийся тем, что текущее время измерений с момента начала первого опыта до начала последнего опыта измеряют в часах для выявления закономерностей динамики расхода водотока в зависимости от влияния обращения Земли вокруг самого себя, то есть в течение нескольких суток, при этом измерения проводят в разное время суток при не менее 10 повторах, причем за продолжительность проведения одной серии измерений в одном опыте с повторами принимают не более чем за 10 минут.

4. Способ измерения и анализа динамики объемного расхода водотока родника по п. 1, отличающийся тем, что текущее время измерений с момента начала первого опыта до начала последнего опыта одного эксперимента измеряют в сутках для выявления закономерностей динамики расхода водотока в зависимости от влияния обращения Земли вокруг Солнца, при этом измерения проводят за продолжительность проведения серии измерений в одном опыте с повторами измерения не более чем за 30 минут.

Предлагаемый способ обладает простотой проведения измерений по показателю времени (периода) наполнения мерного сосуда и расчета второго показателя – объемного расхода воды крупным и малым водотоками одного и того же родника.

Крупный водоток сильно пульсирует, а малый водоток, как правило, является ламинарным. Кроме того, время наполнения малым водотоком ковшика постоянной емкости, например, в один литр, значительное и это позволяет уменьшить погрешности неавтоматизированного измерения секундомером. Поэтому на одном малом водотоке нужно продолжать измерения в течение нескольких месяцев и не менее двух лет.