

Среди гусей наиболее многочисленной добычей является белолобый гусь, доля добычи которого составляет 60,9 % от общей добычи гусей в Беларуси. Серый гусь, как единственный гнездящийся в Беларуси вид гусей, добывается в наименьшем количестве и доля его добычи составляет 12,5 %. Однако если учесть, что основная масса гусей добывается в весенний период и то, что гуси являются моногамами, то даже и эта незначительная добыча может отрицательно сказываться на гнездовании и воспроизводстве серого гуся в Беларуси.

Из околотовных зверей наиболее эксплуатируется в водно-болотных угодьях охотничьих хозяйств Республики Беларусь популяция бобра речного – 7 887 ос., менее всего выдры – 37 ос. (рисунок 6).

При переводе добытой охотничьей продукции в дичемясную продукцию на 1 га водно-болотных угодий добывается 0,13 кг дичемясной продукции. В то время, как для лесных охотничьих угодий, где основу добычи составляют дикие копытные, этот показатель составляет 0,11 кг. Таким образом, водно-болотные угодья являются самыми продуктивными охотничьими угодьями.

УДК 620.92+620.987

А. Г. Ободовский, проф., д-р геогр. наук,  
В. В. Онищук, ст. науч. сотр., канд. техн. наук  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ РЕК НА ВЫСОКОЭКОЛОГИЧЕСКИХ МАЛЫХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ**

*Актуальность* энергообеспечения хозяйственного комплекса на основе использования гидроэнергоресурсов рек на высокоэкологических МГЭС заключается в целом ряде известных преимуществ природоохранного характера. В этом контексте следует отметить, что строительство и эксплуатация МГЭС за существующей технологией не позволяет кардинально решить проблему высокоэкологического энергообеспечения. Приоритетным решением этого вопроса является использование потенциала электромагнитного поля на элементах ГЭС [1, 2].

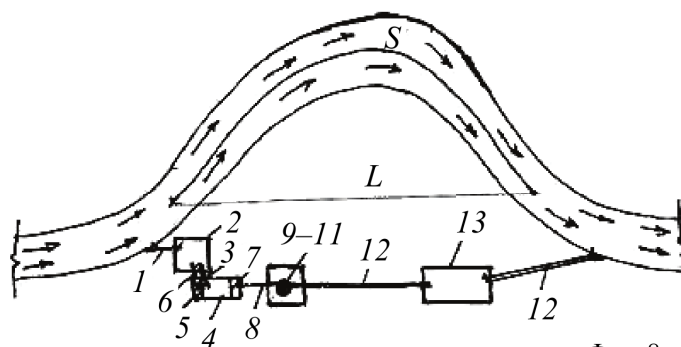
*Цель исследования* – это более подробно раскрыть технологическую парадигму использования дополнительного электромагнитного поля на отдельных рабочих органах деривации гидроэлектростанций и заинтересовать инвесторов для внедрения данной разработки в практику гидротехнического строительства.

*Методика экологического использования гидроэнергетического потенциала рек.* Нами предложена новая технологическая парадигма привлечения водных ресурсов для производства электроэнергии на малых по мощности ГЭС. Суть этой парадигмы заключается в использовании электромагнитного поля на рабочих органах напорной деривации ГЭС, с которой она будет достаточно эффективно работать при малых расходах воды (0,03–0,4 м<sup>3</sup>/с). Это обеспечит непрерывную ее работу в течение года и не будет существенно влиять на гидравлический режим и гидроэкологическое состояние реки. Поэтому декларируемую конструкцию электростанции было названо универсальной высокоэкологической малой ГЭС (УВЭМГЭС) [2]. УВЭМГЭС рекомендуется строить на развитых излучинах горных рек, которые имеют достаточные перепады высот продольного профиля. На высокогорье такие ГЭС можно размещать также на относительно прямолинейных участках. На равнинных реках данную конструкцию ГЭС предлагается строить при наличии высотного уравнивающего резервуара, который позволит иметь достаточно большую мощность станции.

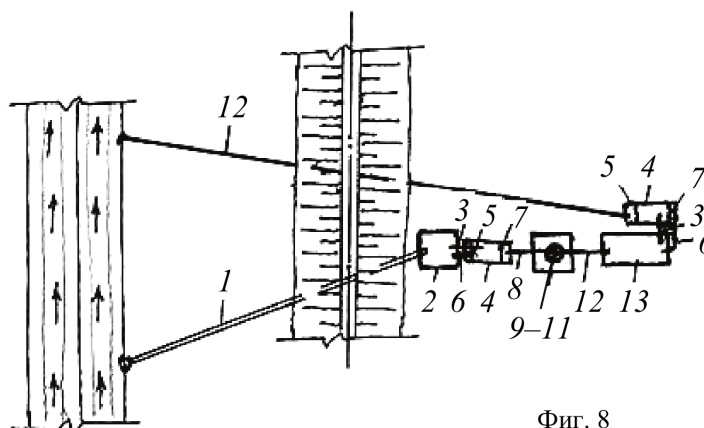
Принцип работы УВЭМГЭС заключается в том, что здесь турбина, конусная насадка или форсунка имеют двойные обложки, а пространства между их стенками (вакуум)

заполняются газом гелием или аргоном при давлении 0,18 Па (0,02 ат) или не более данной величины. При перепаде температур между окружающей средой и внутри водного потока в пространствах обложек через систему дырчатых перегородок будет происходить циркуляция использованного инертного газа. В этом контексте следует заметить, что при отмеченном вакууме имеется достаточное количество молекул газа для циркуляции, которые при солиноидальном движении будут прикасаться до стенок обшивок и, таким образом, на их поверхности будут возникать статические заряды. Циркуляция молекул газа обуславливает формирование дополнительного местного электромагнитного поля внутри и вокруг этих элементов, а также в конечной части напорного трубопровода. Замена поля гравитации электромагнитным ускоряет водный поток почти на порядок, что объясняется проявлением эффекта эжекции и наличием компактной струи вакуума в конце трубопровода. В этой зоне перед конусной насадкой или форсункой необходимо установить обратный клапан для сброса воздуха.

Здание ГЭС располагается на пойме возле русла реки либо возле склона за дамбой обвалования. Рядом располагается аккумулятивная емкость, в которую вода из реки поступает с помощью трубы (рис. 1–3). Далее вода подается с помощью гидравлического сифона в уравнительную емкость (уравнительный резервуар), размещенный на опорах, с которого затем осуществляется заполнение деривации станции. Гидравлический сифон рекомендуется использовать по конструкции изложенной в патенте Украины [3]. Отвод воды из кольцевого бассейна осуществляется с помощью сбросного трубопровода в буферную емкость. С этой емкости вода перекачивается гидравлическим сифоном в достаточно высокую емкость, что позволяет сбросной трубой направиться в реку (рис. 1).



Фиг. 8

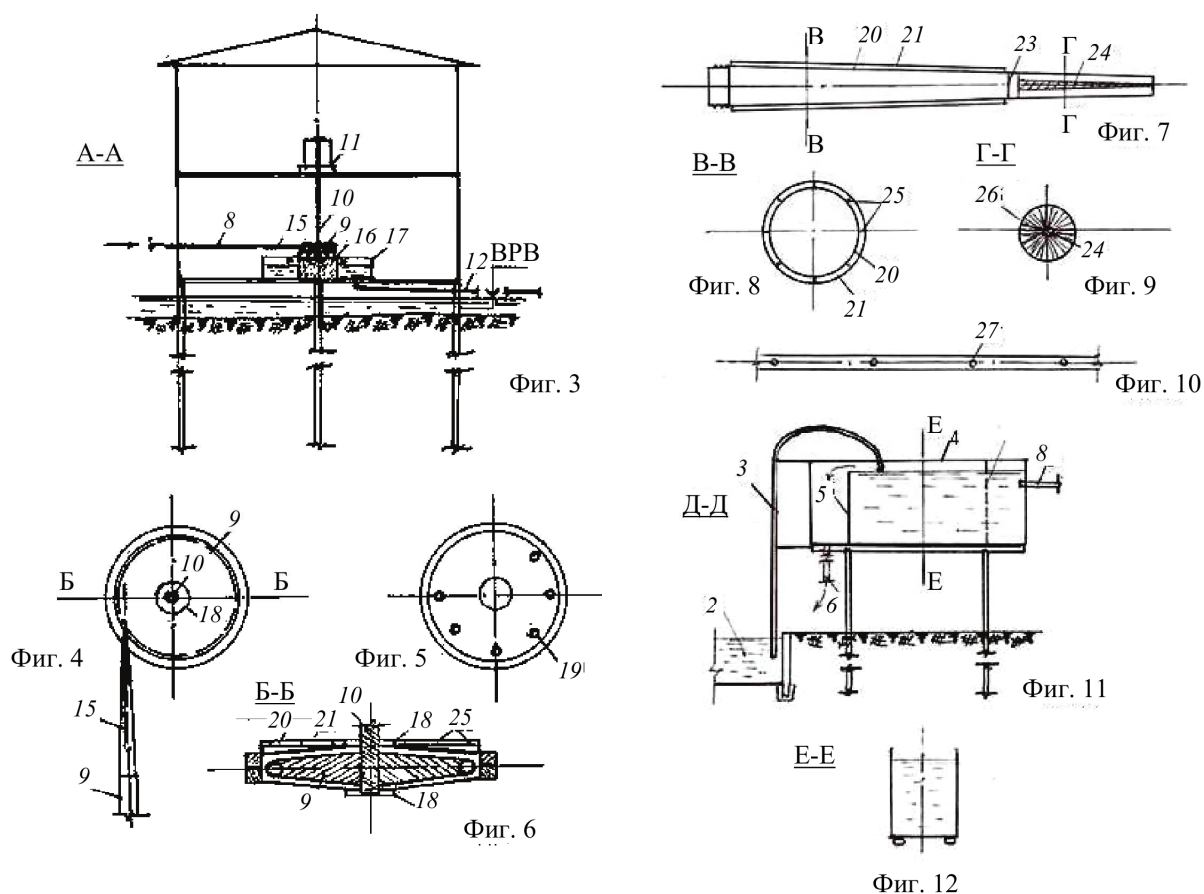


Фиг. 8

На фиг. 1 приведен общий вид размещения УВЭМГЭС возле излучины реки в плане, где показано: 1 – пропускная труба; 2 – аккумулятивная емкость; 3 – гидравлический сифон; 4 – уравнивающая емкость; 5 – перегородка для автоматического сброса избытка воды; 6 – сбросная труба; 7 – защитная сетка; 8 – подводящий напорный трубопровод; 9 – 11 – ковшовая турбина на одном валу с генератором; 12 – сбросной трубопровод; 13 – буферная емкость; на фиг. приведен общий вид размещения УВЭМГЭС за дамбой обвалования реки в плане, где показано: 2 – 2 – 13 – то же самое, что и на фиг. 1; 14 – буферная емкость

**Рисунок 1 – Варианты компоновки УВЭМГЭС**

Монтаж оборудования УВЭМГЭС характеризуется следующими особенностями (рис. 1–3). Аккумулятивную емкость 2 рекомендуется устраивать при площади водной поверхности не менее  $24 \text{ м}^2$ , прямоугольной формы и глубиной не менее 2 м. Уравновешивающую емкость 4 предлагается изготавливать из хромоникелевого сплава размером в плане  $2000 \times 6000 \text{ мм}$  и высотой 2500 мм. Подводящий напорный трубопровод 8 заканчивается конусной форсункой с двойной обложкой 15, которая имеет длину не менее 1200 мм. Диаметр форсунки в начале должен быть равен диаметру трубы, а в конце – должен быть соразмерным с шириной ковша турбины (с внутренним углом не более  $24^\circ$ ), изготовленной из хромоникелевого сплава.



На фиг. 3: 8 – подводящий напорный трубопровод; 9 – ковшовая турбина с двойной обложкой; 10 – вал; 11 – генератор; 15 – форсунка с двойной обложкой; 12 – сбросной трубопровод; 16 – опора, 17 – кольцевой бассейн; на фиг. 4: 8 – подводящий напорный трубопровод; 15 – форсунка с двойной обложкой; 9 – ковшовая турбина с двойной обложкой; 10 – вал; 18 – подшипник; фиг. 5: 19 – отверстие для сброса воды из корпуса турбины; фиг. 6: 9 – ковшовая турбина; 10 – вал; 18 – подшипник; 20 – внутренняя стенка обложки; 21 – внешняя стенка обложки; 22 – жесткая дырчатая перегородка

**Рисунок 2 – Схема размещения ковшовой турбины в здании ГЭС и главные ее конструктивные элементы деривации**

На фиг. 7: 20 – внутренняя стенка обложки; 21 – внешняя стенка обложки; 23 – щелевой затвор; 24 – конусный стержень; на фиг. 8: 20 – внутренняя стенка обложки; 21 – внешняя стенка обложки; 25 – жесткая дырчатый перегородка; на фиг. 9: 24 – конусный стержень; 26 – пластина; на фиг. 10: 27 – отверстие в жесткой дырчатой перегородке на фиг. 11: 2 – аккумулятивная емкость; 3 – гидравлический сифон; 4 – уравновешивающая емкость; 5 – перегородка для автоматического сброса избытка воды; 6 – сбросная труба; 7 – сорозадерживающая сетка; 8 – подводящий напорный трубопровод

**Рисунок 3 – Конструктивные элементы форсунки и основные узлы деривации ГЭС**

Пространство между стенками двойной обложки турбины и форсунки шириной 6 мм заполняется газом гелием при давлении не более 0,18 Па. Внутри форсунки на длине 600 мм от сопла устраиваются щелевой затвор 23 и конусный стержень 24 диаметром от 30 до 10 мм, изготовленный из хромоникелевого сплава в равных пропорциях составляющих. К стержню и к стенке форсунки приварены 24 хромоникелевые пластины 26 толщиной 3 мм. Ковшовая турбина 9 диаметром 600 мм имеет двойную обложку, стенки 20 и 21 которой изготавливаются из хромоникелевого сплава толщиной 3 мм. Пространство между стенками двойной обложки шириной 6 мм заполняется газом гелием при давлении не менее 0,18 Па, который поступает через патрубок диаметром 13,5 мм и оборудован щелевым затвором и датчиком давления. Жесткие дырчатые перегородки 25 изготавливаются из хромоникелевого сплава толщиной 3 мм с системой отверстий диаметром 3 мм, расположенных через 240 мм. Вода из турбины выходит через систему отверстий 19 снизу в ее корпусе диаметром 30 мм. При расходе в напорном трубопроводе 300 л/с их необходимо иметь с коэффициентом запаса 2 в количестве 12 штук, размещенных рядом с ободом. Пространство между корпусом турбины и двойной обложкой необходимо обеспечить толщиной 2 мм. Сбросной трубопровод 12 размещается в нижней части кольцевого бассейна 17 диаметром 3 м и принимается по величине пропуска воды в два раза больше, чем подводящего напорного трубопровода (рис. 2, 3).

Работа УВЭМГЭС происходит следующим образом. В экологическом аспекте незначительный отбор воды из русла и ее сброс в пределах излуцины или достаточно близко от здания ГЭС на относительно прямолинейном участке реки, после прохождения через УВЭМГЭС, в целом не нарушает активность русловых процессов. То есть река остается почти в естественном состоянии. УВЭМГЭС рекомендуется размещать на любом участке реки. В частности, на пойме со стороны выпуклого берега излуцины с показателем ее развития  $S / L$  в пределах от 1,4 до 1,8, что соответствует ее динамическому равновесию и наибольшей гидравлической выгоде (где  $S$  – длина излуцины по тальвегу,  $L$  – шаг излуцины, определяемый между двумя корытами перекатов).

Форсунка 8 вместе с турбиной 9 благодаря циркуляции газа гелия или аргона в пространстве между стенками обложек 14 и 15 создают на фоне дополнительного местного электромагнитного поля действие эффекта эжекции в напорном трубопроводе 7 (ускорения движения водных масс). Электромагнитное поле приводит к формированию компактной центральной струи, в которой должен наблюдаться ламинарный режим. То есть, вокруг струи на длине соответствующего участка будет иметь место обширное вакуумное пространство. В это пространство должен поступать воздух из воды (для выпуска избытка воздуха между напорным трубопроводом и форсункой необходимо разместить обратный клапан), что обезопасит турбину от вибрации при значительных допустимых скоростях ее вращения. Циркуляция газа гелия в пространстве между стенками обшивок на форсунке и турбине происходит благодаря температурному градиенту между двумя средами (между атмосферным воздухом и водой).

*Примеры расчетов основных характеристик напорного трубопровода по существующим методикам.* Исходными данными для расчетов являются: диаметр напорного трубопровода  $d = 200$  мм; длина трубопровода от уравнивающей емкости к конусной насадке или форсунке  $l = 20$  м [1]; напор воды на входе трубопровода  $H_1 = 0,35$  м; перепад высот залегания трубопровода  $H_2 = 3,5$  м; общий гидравлический напор воды  $H = 3,85$  м.

1. Гидравлический расчет напорного трубопровода по уравнению Бернулли, которое использовано в следующем виде [4]

$$H_1 + 0,81 \frac{Q^2}{gd_1^4} = H_2 + 0,81 \frac{Q^2}{gd_2^4} + \sum S_0 Q^2 \ell + \sum \zeta \frac{Q^3}{d^4}, \quad (1)$$

где  $H_i = z + p/\rho g$  – пьезометрический напор в расчетном створе;  $S_0 = 8\lambda/g\pi^2 d^5$  – удельное сопротивление трубопровода;  $\zeta$  – коэффициент местного сопротивления на входе воды в трубу с учетом потерь на сорозадерживающей решетке.

Ход расчета:  $H_1 = 0,35$  м;  $H_2 = 3,85$  м;  $S_0 = 8$  и  $\zeta_{\text{вх}} = 1,5$ ; расход воды  $Q = 0,170$  м<sup>3</sup>/с,  $V = 0,170/0,0295 = 5,78$  м/с.

2. Гидравлический расчет напорного трубопровода по формуле Ф.А. Шевелева [5]

$$H = A l Q^2 k_0, \quad (2)$$

где  $A$  – удельное сопротивление трубопровода (по данным табл. ИХ.3);  $k_0$  – переходной коэффициент, который для квадратичной области сопротивления равен 1.

Согласно формуле (2) расход воды в напорном трубопроводе равен  $Q = [3,85/(6,96 \times 20)]^{0,5} = 0,166$  м<sup>3</sup>/с,  $V = 0,166/0,0295 = 5,63$  м/с.

При наличии электромагнитного поля, создаваемое циркуляцией газа гелия, в конце трубопровода, которое по своему потенциалу выше потенциала силы гравитации, происходит замещение последнего. На фоне отсутствия силы гравитации создаются условия для ускорения потока воды в напорном трубопроводе на величину силы земного притяжения  $V_{н.м} = 5,70 \times 9,81 = 56$  м/с. В данном случае скорость потока воды в сопле форсунки может быть соразмерна удвоенной величине  $V_c = 112$  м/с. При указанной скорости потока вращение турбины должно составлять не менее  $V_m = 112/(2 \times 3,14 \times 0,3) = 59,45$  об/с или 3567 об/мин. В результате трансформации работы дополнительного электромагнитного поля непосредственно во вращение турбины мощность ГЭС при наличии одного блока будет соразмерна  $N = V_m t_{e.n} k_m = 59,45 \times 3 \times 1 = 178$  кВт или 356 кВт при наличии двух генераторов на одном валу с турбиной (где  $t_{e.n} = 3$  – показатель трансформации работы электромагнитного поля в генерацию тока,  $k_m$  – коэффициент полезного действия турбины на фоне проявления электромагнитного поля, который приближен к 1). При начальном напоре воды в трубопроводе равном 10 м, который можно достичь на уравнивающей емкости при использовании гидравлического сифона с электромагнитным полем, будем иметь следующие величины характеристик:  $Q = 0,268$  м<sup>3</sup>/с,  $V = 9$  м/с,  $V_{н.м} = 88$  м/с,  $V_c = 176$  м/с,  $V_m = 93$  об/с или 5580 об/мин,  $N = 558$  кВт или 1116 кВт при двух генераторах на одном валу с турбиной. Минимальный расход воды в напорном трубопроводе при этом должен быть не менее 0,03 м<sup>3</sup>/с, что отвечает скорости вращения турбины  $V_m = 635$  об/мин ( $N = 63$  кВт или 126 кВт при двух генераторах на одном валу с турбиной).

*Принципиальные особенности замены поля гравитации электромагнитным полем.* Замена силы гравитации происходит при условии превышения потенциала электромагнитного поля над естественным силовым потенциалом в конкретном месте.

Силу гравитации водной среды  $F$  на участке трубопровода длиной возможной ее замены электромагнитным полем можно определить по формуле

$$F = \rho g W_g, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность воды, равная 1000 кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение силы земного притяжения, которое соразмерно 9,81 м/с<sup>2</sup> или несколько больше над водной поверхностью – 9,84 м/с<sup>2</sup>;  $W_g$  – объем воды в трубопроводе (в зоне влияния электромагнитного поля на поле гравитации), м<sup>3</sup>.

Силу электромагнитного поля предлагается определять по эмпирической формуле, полученной на основе теоремы  $\pi$ , а потому нуждается в дальнейшем уточнении [5]

$$E = p W_n \frac{V^2}{4\pi \cdot h \cdot l_{об}}, \quad (4)$$

где  $p$  – давление газа гелия в двойной обложке конусной насадки или форсунки, равный 0,18 Па (0,02 ат) или 200 кг/м<sup>2</sup>;  $W_n$  – объем пространства в двойной обложке элементов деривации, м<sup>3</sup>;  $h$  – виртуально-реальная высота субстанционального пространства от центра трубы к ее внешней поверхности, соразмерных радиуса трубы, м;  $l$  – длина элементов деривации с электромагнитным полем, м.

Сила поля гравитации в трубопроводе по длине 10м действия необходимого за потенциалом электромагнитного поля от конусной пасадки или форсунки равна  $F = 310 \text{ кгм/с}^2$  (при  $\omega = 0,03 \text{ м}^2$ ;  $W_s = 0,03 \times 10 = 0,3 \text{ м}^3$ ).

Сила электромагнитного поля вокруг конусной насадки или форсунки и конечной части напорного трубопровода ориентировочно составляет

$$E = 200 (2 \cdot 3,14 \cdot 0,065 \cdot 0,006 \cdot 2,4) \cdot (1122/4 \cdot 3,14 \cdot 0,096 \cdot 10) = 1228, 52 \text{ кгм/с}^2.$$

Таким образом, сила электромагнитного поля на элементах деривации значительно превышает силу гравитации в конечной части трубопровода.

*Рекомендации по размещению высокоэкологических малых гидроэлектростанций с учетом существующего или подлежащего к реализации комплекса противопаводковых мероприятий.* 1. На горных участках рек, которые имеют минимальный расход не менее  $0,60 \text{ м}^3/\text{с}$  строительство УВЭМГЭС возможно при наличии низких переливных плотин с донным трубчатым сбросом воды при расходе не менее  $0,30 \text{ м}^3/\text{с}$ . Высоту этих плотин в каскаде предлагается принимать в пределах от 1 до 3 м. Отбор воды из этих емкостей следует осуществлять в отдельные буферные емкости с автоматической регулировкой объема их расчетного наполнения. Вода из буферных емкостей должна поступать в деривацию ГЭС. 2. На участках рек с обвалованием русло-пойменного комплекса устройство УВЭМГЭС предлагается осуществлять за пределами дамб обвалования. Отбор воды из русла реки происходит по перепускной трубе в буферный бассейн, а затем напорным трубопроводом подается в здание ГЭС. 3. На участках рек с осередковым типом русла (руслевая многоорукавность) строительство УВЭМГЭС рекомендуется осуществлять по схеме отбора фильтрационной воды в пойменных буферных бассейнах. 4. При типе русла приближенного к пойменной многоорукавности в пределах предгорной части реки желательно для отбора воды использовать самый развитый и многоводный рукав. При этом также необходимо иметь буферный бассейн. Отбор воды рекомендуется производить с помощью фильтрационной пропускной трубы, поскольку глубина таких русел незначительна. Стоит также отметить, что при таком типе русла обустройство УВЭМГЭС есть не совсем целесообразным. 5. На равнинных реках, имеющих высокий уровень зарегулированности стока, строительство УВЭМГЭС рекомендуется производить у береговой линии водохранилищ (в верхнем бьефе гидроузла) и у прудов. Эта возможность объясняется тем, что, как правило, используется малый расход воды, который может подаваться на большую высоту гидравлическим сифоном и соответственно через уравнивающий резервуар поступать в напорный трубопровод.

*На основе вышеизложенных материалов можно сделать следующие научно-практические обобщения.* 1. Предлагаемая конструкция малой ГЭС позволяет при малых расходах воды получить достаточно высокую выработку электроэнергии, что позволит равномерно распределить ее эффективное потребление. 2. Электромагнитное поле в конце трубопровода, которое по своему потенциалу выше потенциала силы гравитации, способствует замещению последнего. На фоне отсутствия силы гравитации возникает эффект эжекции в трубопроводе, который ускоряет поток. 3. Высокие обороты турбины и соответственно достаточно большая мощность станции объясняется отсутствием трения в подшипниках на турбине и генераторах. 4. Эксплуатация УВЭМГЭС позволит существенно увеличить сроки работы турбин и генераторов, а также повысить уровень экологической безопасности в целом.

#### *Список использованных источников*

1 Ободовський, О. Г. Нова технологічна парадигма розвитку малої гідроенергетики на річках Карпатського регіону / О. Г. Ободовський, В. В. Онищук // В кн. Від географії до географічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків (до 140-річчя започаткування географії у Чернівецькому національному університеті імені Юрія Федьковича). Матеріали міжнародної наукової конференції (11–13 жовтня 2016 р.). – Чернівці, Чернівецький національний університет, 2016. – С. 171 – 172.

2 Патент України на корисну модель № 113487. Універсальна високоекологічна мала гідроелектростанція (УВЕМГЕС) / В. В. Онищук, О. Г. Ободовський; Власник патенту – Київський національний університет імені Тараса Шевченка. – Бюл. № 3, 2017.

3 Патент України № 115332 . Універсальний гідравлічний сифон / В. В. Онищук, О. Г. Ободовський. – Бюл. № 7, 2017.

4 Справочник по гидравлике / Под редакцией В. А. Большакова – К.: «Вища школа», 1977. – 280 с.

5 Богомоллов А. И., Михайлов К. А. Гидравлика / А. И. Богомоллов, К. А. Михайлов. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.

УДК 004.42:632.123.1

А. А. Зиновьев, магистр техн. наук  
НИИ труда Министерства труда социальной защиты  
Республики Беларусь, г. Минск

### **РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ НАВОДНЕНИЙ ДЛЯ ГИДРООБЪЕКТА «ПОЛОЦК»**

С древних времен человек селился вблизи рек, источника жизни, и на всем протяжении истории вынужден был бороться с их коварством. В результате наводнений затопляются обширные территории и многочисленные народно-хозяйственные объекты. Наводнения принадлежат к числу наиболее опасных для человека природных гидрологических явлений. Проблема наводнений, поиск путей снижения ущерба от них в этой связи является на территории Республики Беларусь весьма актуальной.

Разработка методов, дающих возможность рассчитывать подъемы уровня воды в бассейне рек с большой заблаговременностью, остается одной из важнейших задач. Определение вероятности возникновения и развития наводнений в определенном месте и в определенное время, а также оценке возможных последствий их проявлений решается путем прогнозирования. Развитие программно-математических средств и информационных технологий сбора, обработки, анализа и отображения пространственных данных открывает пути для создания новых технологий по прогнозированию и оценке масштабов наводнений, определению зон затопления для своевременного проведения комплекса неотложных мероприятий, направленных на снижение опасности наводнений и уменьшение негативного воздействия на условия проживания населения и функционирование хозяйственных объектов.

Для расчета максимального уровня наводнения и притока воды в водохранилища и в бассейны рек разработана математическая модель прогноза формирования максимальных расходов и уровней воды рек на основе уравнения множественной регрессии [1]. Уравнение множественной регрессии может быть представлено в виде:

$$Y = f(\beta, X) + \varepsilon, \quad (1)$$

где  $X = X(X_1, X_2, \dots, X_m)$  – вектор независимых (объясняющих) переменных;  $\beta$  – вектор параметров (подлежащих определению);  $\varepsilon$  – случайная ошибка (отклонение);  $Y$  – зависимая (объясняемая) переменная.

Линейное уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $\beta_0$  – свободный член, определяющий значение  $Y$ , в случае, когда все объясняющие переменные  $X_j$  равны 0.

Данные наблюдений и параметры модели должны быть представлены в матричной форме.

$Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]'$  –  $n$ -мерный вектор – столбец наблюдений зависимой переменной;