

УДК 626.826

DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-214-231

Д. П. Гостищев

Государственный университет по землеустройству, Москва, Российская Федерация

А. И. Тищенко, В. Д. Гостищев

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск, Российская Федерация

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА ВОДНОГО ПОТОКА СБРОСНЫХ ВОД В ЭЛЕМЕНТАХ ДЕРИВАЦИОННОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Целью данного исследования является определение потерь напора водного потока сбросных вод в элементах открытой деривационной оросительной сети. При этом учитываются потери воды в системе на фильтрацию, испарение, гидравлические сопротивления и др. Деривационные оросительные системы применяются в предгорных и горных районах с большими перепадами рельефа местности, где водный поток, имеющий кинетическую энергию, в резких переломах местности приобретает энергию потенциальную. При движении водного потока по каналам деривационной оросительной сети происходят потери его напора. Различают два вида потерь напора при движении водного потока: потери напора по длине и местные потери напора. В результате напор воды, поступающий в гидранты для дождевальных машин, может оказаться значительно меньше напора, необходимого для качественного полива орошаемого участка. Как и на любой мелиоративной системе, на деривационных каналах применяются гидротехнические сооружения различных конструкций. Эти сооружения выполняют ту или иную роль в преобразовании кинетической энергии водного потока в механическую, электрическую энергию или в ту и другую совместно. Для достижения поставленной цели применены теоретические вопросы классической механики и гидравлики. Методы исследования базируются на теоретических материалах с получением расчетных зависимостей для определения потерь напора водного потока. Для вывода кинетической и потенциальной энергии водного потока используется основной закон динамики классической механики. В статье приведен конечный результат теоремы об изменении кинетической энергии для механической системы. После небольших математических преобразований данная теорема приведена к уравнению Д. Бернулли для выделенного сечениями 1 – 1 и 2 – 2 (длиной L) участка водного потока при его плавно изменяющемся движении. Новизна статьи заключается в разработке методики (алгоритма) расчета потерь напора водного потока и блок-схемы расчета (с помощью ЭВМ) потерь напора (энергии) водного потока для отдельно взятого канала деривационной сети.

Ключевые слова: деривационная оросительная сеть, пропуск сбросных вод от снеготаяния и ливневых дождей, потери напора водного потока по длине водовода и местные, работа, коэффициент полезного действия.

D. P. Gostishchev

The State University of Land Use Planning, Moscow, Russian Federation

A. I. Tishchenko, V. D. Gostishchev

Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk, Russian Federation

DETERMINATION OF HEAD LOSSES OF WASTE WATER FLOW IN DIVERSION IRRIGATION NETWORK ELEMENTS

The purpose of this study is to determine the head losses of water flow of wastewater in the elements of an open diversion irrigation network. The water loss for filtration, evaporation, hydraulic resistance, etc. in the system is taken into account. Diversion irrigation systems are used in foothill and mountainous areas with large topography changes where the water flow having kinetic energy acquires potential energy in the sharp changes of slope. When the water flow moves along the diversion irrigation canals its head drops out. There are two types of head loss during the water flow movement: head loss by length and local head loss. As a result, the water pressure entering the sprinklers hydrants can be significantly less than the pressure needed for high-quality irrigation of the irrigated area. As in any reclamation system, hydraulic structures of various designs are used on diversion canals. These structures perform one or another role in the transformation of the kinetic energy of water flow into mechanical, electrical energy, or both. To achieve this goal, the theoretical problems of classical mechanics and hydraulics have been applied. The methods of investigation are based on theoretical materials with the derivation of calculated dependences for determining the head losses of water flow. To derive the kinetic and potential energy of the water flow, the basic law of dynamics of classical mechanics is used. The final result of the principle of energy is given in the article. After small mathematical transformations, this theorem is reduced to the Bernoulli equation for a section of the water flow separated by sections 1 – 1 and 2 – 2 (length L) with its smoothly changing motion. The novelty of the article is the development of a methodology (algorithm) for calculating the head losses of water flow and a flowchart for calculating (with the help of a computer) the head (energy) losses of water flow for a single canal of diversion network.

Key words: diversion irrigation network, passing of snowmelt and shower wastewater, head losses of the water flow along the length of the water course, local losses, work, efficiency coefficient.

Введение. Деривационные оросительные системы (ДОС) применяются в предгорных и горных районах с большими перепадами рельефа местности, где сбросной водный поток (из источника орошения, талых и ливневых вод), имеющий кинетическую энергию, в резких переломах местности приобретает энергию потенциальную. При движении водного потока по каналам деривационной оросительной сети происходят потери его напора от разбора воды по каналам младших порядков, сопротивления по длине водотока, местных сопротивлений на гидротехнических сооружениях, потерь воды на фильтрацию, испарение и др.

В результате этих потерь напор воды, поступающей в гидранты для дождевальных машин, может оказаться значительно меньше напора, необходимого для качественного полива орошаемого участка.

Новизна статьи заключается в разработке методики расчета потерь

напора водного потока, которая предполагает, что определение полного (необходимого) напора водного потока (а соответственно, и расхода) для головного водозаборного сооружения (в противоположность существующим традиционным расчетам) необходимо начинать с учета напора воды, требуемого для дождевальной машины (или n -го числа машин). Далее последовательно производится расчет полного напора водного потока для участкового, хозяйственного, межхозяйственного распределителей, магистральных каналов низшего порядка и в заключение главного магистрального канала.

Такая схема (последовательность расчета) позволяет определить оптимальный (необходимый) полный напор (полную энергию потока) для всех каналов, входящих в состав деривационной сети. Полученные оптимальные значения полных энергий потока позволяют проектировщикам назначить рациональные геометрические характеристики водозаборных сооружений для каждого канала деривационной сети, а также запроектировать экономически наиболее выгодные поперечные сечения русел каналов открытой деривационной оросительной сети.

Как и на любой мелиоративной системе, на деривационных каналах применяются гидротехнические сооружения различных конструкций и назначения. Однако использование энергетических ресурсов водного потока на сооружениях ДОС более полно и обширно. В частности, для маневрирования затворами регулирующих сооружений на деривационных системах используется не электрическая, а энергия водного потока, что гораздо эффективнее и дешевле использования электрической энергии единой энергетической системы. Благодаря использованию перепада уровней воды между деривационным магистральным каналом и руслом реки создается возможность устройства малых ГЭС (рисунок 1).

Малые ГЭС необходимы для выработки электроэнергии для жителей населенных пунктов, находящихся в зоне ДОС [1–3]. В связи с этим целью данного исследования является определение потерь напора водного потока

в элементах открытой ДОС при гидравлических сопротивлениях с учетом потерь воды на фильтрацию, испарение и др.



Рисунок 1 – Схема ГЭС с деривацией в виде открытого канала

Материалы и методы. Для определения механической энергии при движении системы материальных точек в классической механике [4–6] используется основное уравнение динамики в дифференциальной форме.

На основании этого уравнения получен закон сохранения механической энергии в интегральной форме, окончательная структура которого имеет вид:

$$T_0 + T = П_0 + П \text{ или } T + П = \text{const},$$

где T_0 и T – начальная и конечная кинетическая энергия механической системы, Дж;

$П_0$ и $П$ – начальная и конечная потенциальная энергия механической системы или твердого тела, Дж.

Единица измерения энергии и работы в системе СИ – джоуль, при этом $1 \text{ Дж} = 0,102 \text{ кгс}\cdot\text{м}$ [3, 7–9].

На основании законов неразрывности и сплошности движения водного потока в литературных источниках по гидравлике [7–10] приводится энергетическое выражение полного напора (по Д. Бернулли) в виде:

$$H = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}, \quad (1)$$

где H – полный напор в выделенном объеме жидкости, м;

z – геометрический напор (перепад между начальным и конечным сечениями выделенного объема жидкости), м;

p – атмосферное давление на выделенный объем жидкости, кН/м²;

ρ – плотность (объемная масса) жидкости, кН·с²/м⁴;

v – скорость движения выделенного объема жидкости, м/с;

g – ускорение сил тяжести, м/с².

В уравнении (1) первые два слагаемых его правой части представляют собой потенциальный напор:

$$z + \frac{p}{\rho g} = H_p,$$

где H_p – удельный потенциальный напор, м.

Третье слагаемое уравнения (1) $v^2/2g$ представляет собой скоростной напор, или удельную энергию **кинетическую**, т. е. меру кинетической энергии, принадлежащей единице веса жидкости.

Таким образом, полный напор представляет собой сумму двух напоров: потенциального H_p , состоящего из геометрического напора z и напора давления $p/\rho g$, и скоростного (кинетического) напора $h_v = v^2/2g$.

Энергетическое выражение полного напора имеет вид:

$$H = H_p + h_v, \quad (2)$$

где H – полный напор в выделенном объеме жидкости, м;

h_v – скоростной напор в выделенном объеме жидкости, м.

Равенство (2) выражает полный запас энергии выделенного объема жидкости, отнесенный к его весу, в связи с чем уравнение Бернулли часто называют **уравнением энергии** [10–15].

Применение уравнения Бернулли для практических задач основано

на том, что выделяется объем жидкости с двумя поперечными сечениями 1 – 1 в начале выделенного отсека и 2 – 2 на выходе из отсека жидкости (в конце его). В результате уравнение (1) приводится к балансу потенциального и кинетического напоров водного потока в следующем виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}, \quad (3)$$

где индексами «1» обозначены символы входного сечения объема жидкости, а индексами «2» обозначены символы конечного сечения объема жидкости.

В уравнении (3) для первого сечения все три слагаемых известны, для второго сечения известны только два слагаемых, с учетом которых определяется третье слагаемое. В большинстве случаев неизвестной величиной является скорость движения воды v_2 во втором сечении, которая при давлении $p_1 = p_2 = p_{\text{атм}}$ определяется из уравнения (3):

$$v_2 = \sqrt{2g(z_1 - z_2) + v_1^2}. \quad (4)$$

Формула (4) применима для элементарной струйки идеальной жидкости. В реальных условиях движение потока может быть плавно изменяющимся (на быстротоках, в руслах каналов). При этом движении угол расхождения линий токов настолько мал, что проекциями скоростей и ускорений на плоскость, нормальную общему направлению потока, а также и кривизной этих линий можно пренебречь. Эпюры давлений жидкости на дно русла по его длине при этом движении имеют вид, приведенный на рисунке 2.

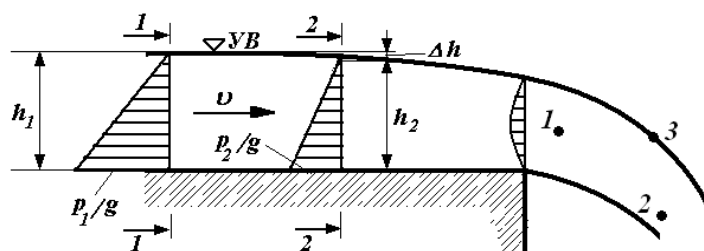


Рисунок 2 – Схема плавно изменяющегося и свободного движения потока с поперечными сечениями конечных размеров

При свободном падении потока (на ступенчатых и консольных перепадах) давление во всех его точках одно и то же, т. е. давления в точках 1, 2 и 3 (рисунок 2) равны между собой:

$$p_1 = p_2 = p_3 = p_{\text{атм}},$$

в связи с тем, что давление в точке 3 атмосферное.

При плавно изменяющемся движении с направлением потока параллельно продольной оси водотока скорости течения по осям, перпендикулярным оси русла, практически равны нулю. В этом случае удельная энергия E (м) выделенного объема выражается следующим уравнением [7–9]:

$$E = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g},$$

а полная энергия элементарной струйки при ее весовом расходе dQ_G ($\text{т}\cdot\text{м}/\text{с}^3$):

$$dQ_G = \rho g dQ = \rho g v d\omega,$$

будет равна сумме энергий элементарных струек, т. е.

$$e_{\text{п}} = \int_{\omega} \left(z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} \right) \rho g v d\omega,$$

где $e_{\text{п}}$ – суммарная энергия элементарных струек, Дж;

ρ – плотность (объемная масса) воды, $\text{кН}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$;

$d\omega$ – площадь поперечного сечения элементарной струйки, м^2 .

Тогда удельная энергия потока, отнесенная к единице веса, примет вид:

$$E = \frac{e_{\text{п}}}{\rho g Q} = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g}. \quad (5)$$

В третьем слагаемом правой части зависимости (5) введен коэффициент Кориолиса $\alpha \approx 1,10 \dots 1,15$. Для реальной жидкости, поток которой обладает вязкостью и подвержен силам сопротивления, уравнение энергии как для элементарной струйки, так и для потока с поперечным сечением конечных размеров имеет в правой части дополнительное слагаемое, кото-

рое учитывает работу сил сопротивления. Для потока реальной жидкости имеем:

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} + \frac{\alpha v_0^2}{2g} = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\alpha v^2}{2g} + h_{w,0-n}, \quad (6)$$

где z_0 и z – начальный и конечный геометрический напор выделенного объема жидкости, м;

p_0 и p – давления на выделенный объем жидкости в его начальном и конечном сечениях (векторы давлений направлены перпендикулярно плоскостям сечений внутрь выделенного объема), т/м²;

v_0 и v – средняя скорость движения потока в начальном и конечном сечениях выделенного объема, м/с.

Введем следующие обозначения:

$$z_0 + \frac{p_0}{\rho g} = \Pi_0, \quad z + \frac{p}{\rho g} = \Pi, \quad (7)$$

где Π_0 и Π – соответственно начальный и конечный потенциальные напоры механической системы или твердого тела, м;

$$\frac{\alpha v_0^2}{2g} = T_0, \quad \frac{\alpha v^2}{2g} = T, \quad (8)$$

где T_0 и T – соответственно начальный и конечный кинетические напоры выделенного отсека жидкости с коэффициентом кинетичности и с учетом сил тяжести, м;

$h_{w,0-n} = A_{\text{сопр}}$ – потери напора (работа) в результате действия сил сопротивления.

Подставив эти обозначения в выражение (6), мы придем к уравнению баланса механической энергии водного потока с учетом потерь на преодоление сопротивлений по длине и местных потерь в виде:

$$\Pi_0 - \Pi = T - T_0 + h_{w,0-n}. \quad (9)$$

При движении реального потока жидкости с поперечным сечением

конечных размеров в каждом конкретном случае следует учитывать определенные виды потерь напора (работ):

- при свободном падении струи – работу сил тяжести

$$A_{mg} = (z_1 - z_2)\gamma V;$$

- работу сил сопротивления $A_{\text{сопр}} = h_{w,0-n} = \mu GS \cos\alpha;$

- работу сил гидродинамического давления на торцевые сечения выделенного объема жидкости:

$$A_p = (p_1 - p_2) \cdot V,$$

где γ – объемный вес выделенного объема воды, т/м³;

V – объем выделенного отсека жидкости, м³;

μ – коэффициент сопротивления (трения);

G – вес выделенного объема воды, т;

S – перемещение выделенного объема по наклонной плоскости, м;

α – угол наклона плоскости к горизонту, град.

В механике сплошных сред теорема об изменении энергии движущегося сплошного потока приводится в дифференциальной форме [5, 7, 9], в которой помимо внешних сил учитываются и внутренние силы жидкости между ее частицами.

Результаты и обсуждение. Полученная теоретическая зависимость (9) с учетом ее составляющих по формулам (6)–(8) предназначена для определения полной энергии (или полного напора) водного потока на ДОС (с учетом потерь напора воды при транспортировке) и расчета основных размеров отверстия головного водозаборного сооружения на пропуск расчетного расхода $Q_{\text{нт}}$ для всей оросительной сети.

Основными являются потери воды на фильтрацию, испарение и сброс воды, остающейся в канале, после окончания орошения [10–15]. Учет оставшейся части расхода воды производится современными методами [16–20]. Если расход воды, подаваемой на орошаемые земли, обозна-

чить через $Q_{\text{орош}}$, а расход воды, забираемой из источника орошения головными сооружениями, – через $Q_{\text{гол}}$, то отношение количества воды, затрачиваемой на полив, к количеству забираемой воды из источника орошения даст коэффициент полезного действия (КПД) деривационной оросительной сети [13], т. е.

$$\eta = \frac{Q_{\text{орош}}}{Q_{\text{гол}}}. \quad (10)$$

Практика эксплуатации показала, что КПД оросительных сетей при каналах в земляных руслах колеблется от $\eta = 0,4$ до $\eta = 0,7$ и чем меньше система, тем выше ее КПД и наоборот.

Как выяснилось, потери на испарение и сброс воды незначительны по сравнению с фильтрационными потерями, которые определяются по формуле М. М. Кабакова, приведенной в СП 100.13330.2016:

$$S = Q_{\text{в}} - \sum Q_0 - \sum Q_{\text{с}} - \sum Q_{\text{н}}, \quad (11)$$

где S – фильтрационные потери воды, $\text{м}^3/\text{см}$;

$Q_{\text{в}}$ – расход воды в верхнем створе, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\sum Q_0$ – сумма расходов воды в отводах, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\sum Q_{\text{с}}$ – сумма сбросов воды, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\sum Q_{\text{н}}$ – расход воды в нижнем створе, $\text{м}^3/\text{с}$.

Поэтому для уменьшения фильтрации через дно и откосы каналов в земляных руслах применяют покрытия из противофильтрационной облицовки. Для повышения КПД таких систем Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации (РосНИИПМ) разработал конструкции на основе противофильтрационных материалов, которые обеспечивают КПД, близкие к 0,97–0,98 [15]. Аналогично расчету КПД ДОС (по формуле (10)) рассчитывается КПД энергии водного потока, зачастую выражаемый через КПД мощности движущегося потока [7–9]. Например, 1 кгс воды, падая с высоты $H = 1$ м, способен произвести рабо-

ту, равную $1 \text{ кгс} \cdot \text{м} = 9,81 \text{ Дж}$. Количество воды Q в 1 м^3 имеет вес $1000 \cdot Q$ кгс, т. е. расход водоисточника, равный Q , $\text{м}^3/\text{с}$, может произвести энергию, Дж:

$$\mathcal{E} = 9,81\rho Q t H = 9,81\rho Q t (z_0 - z + \Pi_0 - \Pi + T - T_0 + h_{w,0-n}). \quad (12)$$

Для определения энергетической характеристики (полного напора) водного потока в голове деривационного канала следует найти потери напора водного потока по каждому элементу, входящему в состав открытой ДОС. Уравнение (12) позволяет произвести расчет энергии водного потока всей сети каналов ДОС в нарастающем итоге, начиная с участкового распределителя.

Алгоритм расчета полной энергии деривационной оросительной сети

1 Вычисляется энергия \mathcal{E}_{dm} дождевального агрегата при поверхностном поливе севооборотного участка по следующей зависимости, Дж:

$$\mathcal{E}_{dm} = 9,81\rho_w (q\Omega_{nt}^{\text{co}}) H, \quad (13)$$

где ρ_w – плотность воды ($\rho_w = 1000 \text{ кгс}/\text{м}^3$);

q – расчетная ордината укомплектованного графика гидромодуля, л/(с·га) с переводом в $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{га})$;

Ω_{nt}^{co} – площадь севооборотного участка нетто, га;

t – время работы дождевальной машины, 1 ч (с переводом в с);

H – перепад между отметками уровня воды в участковом распределителе и устье гидранта, м.

Произведение трех величин в скобках формулы (13) выражает объем воды, затраченной дождевальной машиной в течение 1 ч: $V_w = q\Omega t$ или $V_w = Qt$, м^3 . В результате формула (13) приобретает следующий вид, Дж:

$$\mathcal{E}_{dm} = 9,81\rho_w V_w H = 9,81\rho_w QtH.$$

2 Определяется энергия водного потока, поступающая к гидрантам дождевальных машин из участкового распределителя, Дж:

$$\mathcal{E}_{ur} = 9,81 \rho_w Q_{ur}^{ur} t H n = 9,81 \frac{\rho_w m \Omega_{nt} t H n}{86,4 t} = 0,114 \rho_w m \Omega_{nt} H n,$$

где m – расчетная поливная норма, м³/га;

Ω_{nt} – площадь нетто орошаемого поля, га;

t – продолжительность полива, 1 сут;

n – количество одновременно работающих дождевальными машин, шт.

3 Вычисляется энергия водного потока в голове участкового распределителя $\mathcal{E}_{ur,nt}$ с учетом потенциальной энергии:

$$\mathcal{E}_{ur,nt} = \mathcal{E}_{ur} + \mathcal{E}_{p,ur} = 0,114 \rho_w m \Omega_{nt} H n + G L i,$$

где G – вес 1 м³ воды, 1 т;

L – длина участкового распределителя до створа, в котором забирается вода для полива орошаемого поля, м;

i – продольный уклон дна участкового распределителя на длине L .

4 При известном количестве одновременно работающих участковых распределителей подсчитывается энергия водного потока хозяйственного распределителя $\mathcal{E}_{hr,nt}$, Дж:

$$\mathcal{E}_{hr,nt} = \sum \mathcal{E}_{ur,nt}.$$

5 Определяется энергия водного потока в голове хозяйственного распределителя \mathcal{E}_{hr} , Дж:

$$\mathcal{E}_{hr} = \mathcal{E}_{hr,nt} / \eta.$$

6 Энергия водного потока межхозяйственного распределителя $\mathcal{E}_{mhr,nt}$ определяется как сумма энергий воды хозяйственных распределителей с учетом потенциальной энергии на участке от головного водозабора до последнего хозяйственного распределителя:

$$\mathcal{E}_{mhr,nt} = \sum \mathcal{E}_{hr,nt} + G L_{mhr} i.$$

7 Вычисляется энергия водного потока в голове межхозяйственного распределителя \mathcal{E}_{mhr} , Дж:

$$\mathcal{E}_{mhr} = \mathcal{E}_{mhr,nt} / \eta.$$

8 По количеству одновременно работающих межхозяйственных и хозяйственных распределителей определяется энергия водного потока магистрального канала $\mathcal{E}_{mk,nt}$, Дж, с учетом потенциальной энергии водного потока на длине от водозаборного головного сооружения магистрального канала до последнего межхозяйственного распределителя:

$$\mathcal{E}_{mk,nt} = \sum \mathcal{E}_{mhr,nt} + \sum \mathcal{E}_{hr,nt} + GL_{mk}i.$$

9 Определяется энергия водного потока в голове магистрального канала при заборе воды из водного источника, Дж:

$$\mathcal{E}_{mk} = \mathcal{E}_{mk,nt} / \eta.$$

С учетом некоторых пунктов алгоритма составлена блок-схема расчета потерь напора (энергии) водного потока для отдельно взятого канала деривационной сети открытых каналов (рисунок 3).

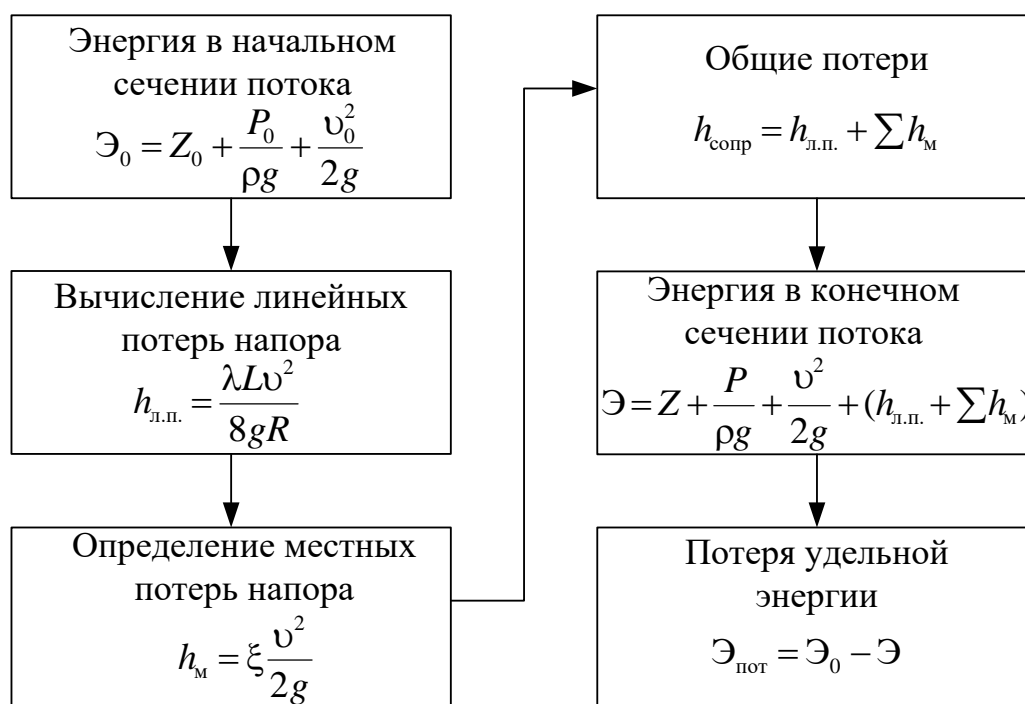


Рисунок 3 – Блок-схема для расчета на ЭВМ потерь энергии водного потока в каналах безнапорной открытой деривационной оросительной сети

На блок-схеме приведены следующие обозначения:

\mathcal{E}_0 , \mathcal{E} , $\mathcal{E}_{пот}$ – соответственно начальная, конечная и потерянная энергия потока, Дж;

Z_0, Z – соответственно начальная и конечная энергия положения, или $\Delta Z = Z_0 - Z$;

P_0, P – соответственно гидродинамическое давление в начале канала и в его конце, Па;

ρ – плотность воды ($\rho = 1000 \text{ кгс/м}^3$);

g – ускорение сил тяжести ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

v_1 и v_2 – средняя скорость течения в живых сечениях потока соответственно в начале и в конце выделенного участка канала, м/с;

λ – коэффициент сопротивления водного потока по длине водотока, определяется в функции от числа Рейнольдса (Re) и коэффициента шероховатости (n) русла;

R – гидравлический радиус живого сечения потока, м;

ξ – коэффициент местного сопротивления, определяется в зависимости от типа сопротивления конструкции гидротехнического сооружения.

Выводы

1 Полученная теоретическая зависимость (9) (уравнение баланса механической энергии водного потока с учетом потерь на преодоление сопротивлений по длине и местных потерь) предназначена для определения потерь напора водного потока на ДОС.

2 Потери воды на фильтрацию при транспортировке по каналам деривационной сети вычисляются по формуле (11).

3 Для определения энергетической характеристики (полного напора) водного потока в голове деривационного канала следует найти потери напора водного потока по каждому элементу, входящему в состав открытой ДОС. Теоретическая зависимость (12) позволяет произвести расчет энергии водного потока всей сети каналов ДОС в нарастающем итоге, начиная с участкового распределителя.

4 Новизна научной статьи состоит в разработке методики расчета по-

терь напора водного потока при транспортировке воды по каналам деривационной оросительной сети. Данный алгоритм позволяет определить оптимальный (необходимый) полный напор (полную энергию потока) для всех каналов деривационной сети. Полученные оптимальные значения полных энергий потока в голове каждого распределителя позволят проектировщикам назначить рациональные конструкции водозаборных сооружений для каждого канала деривационной сети, а также запроектировать экономически наиболее выгодные поперечные сечения русел каналов открытой деривационной оросительной сети.

5 На основании разработанного алгоритма составлена блок-схема (рисунок 3), позволяющая с помощью ЭВМ произвести расчет потерь напора (энергии) водного потока в элементах открытой деривационной оросительной сети.

Список использованных источников

- 1 Тарасенко, В. В. Энергосбережение и его роль в решении экологических проблем / В. В. Тарасенко // Энергоэффективность. – 2000. – № 10. – С. 15–16.
- 2 Летягина, Е. Н. Нетрадиционная электроэнергетика: цели и задачи развития / Е. Н. Летягина // Современные научные исследования и инновации [Электронный ресурс]. – 2011. – № 6. – Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2011/10/4883>.
- 3 Тищенко, А. И. Методические указания по проектированию деривационных оросительных систем / А. И. Тищенко, В. Д. Гостищев // Каталог паспортов научно-технических достижений, рекомендуемых для использования в мелиорации и водном хозяйстве / ФГБНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна, 2017. – Вып. 40. – С. 13–14.
- 4 Бутенин, Н. В. Курс теоретической механики. В 2 т. Т. 1. Статика и кинематика. Т. 2. Динамика: учеб. пособие для вузов по техн. специальностям / Н. В. Бутенин, Я. Л. Лунц, Д. Р. Меркин. – 11-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2009. – 2 т.
- 5 Курс теоретической механики: учеб. для вузов / под ред. К. С. Колесникова, В. В. Дубинина. – М.: МГТУ, 2011. – 758 с.
- 6 Никитин, Н. Н. Курс теоретической механики: учебник / Н. Н. Никитин. – 8-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2011. – 720 с.
- 7 Чугаев, Р. Р. Гидравлика: учебник / Р. Р. Чугаев. – Л.: Энергия, 1975. – 600 с.
- 8 Богомолов, А. И. Гидравлика: учебник / А. И. Богомолов, К. А. Михайлов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1972. – 648 с.
- 9 Киселев, П. Г. Гидравлика: основы механики жидкости: учеб. пособие для вузов / П. Г. Киселев. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
- 10 Тищенко, А. И. Сетевые гидротехнические сооружения: монография / А. И. Тищенко. – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2008. – 247 с.
- 11 Волков, И. М. Гидротехнические сооружения: учебник / И. М. Волков, П. Ф. Кононенко, И. К. Федичкин. – М.: Колос, 1968. – 464 с.
- 12 Железняков, Г. В. Гидротехнические сооружения / Г. В. Железняков,

- Ю. А. Ибад-заде, П. А. Иванов; под ред. В. П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
- 13 Ольгаренко, В. И. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. Н. Рыбкин; под ред. В. И. Ольгаренко. – Коломна, 2006. – 391 с.
- 14 Эксплуатация гидромелиоративных систем (пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения») / Союзводпроект. – М.: Колос, 1991. – 59 с.
- 15 Косиченко, Ю. М. Противофильтрационные покрытия из геосинтетических материалов: монография / Ю. М. Косиченко, О. А. Баев. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – 239 с.
- 16 Масумов, Р. Р. Методы измерения расхода воды на реках и каналах, в напорных трубопроводах насосных станций и оросительных систем: обзор / Р. Р. Масумов. – Ташкент, 2015. – 84 с.
- 17 Новая редакция методики измерения расхода и объема жидкости в безнапорных водоводах: МИ 2220-13 / Ю. А. Вязьмин [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2013. – № 8. – С. 76–78.
- 18 Егоров, Н. Л. Обеспечение достоверности измерений расхода воды в трубах большого диаметра и безнапорных каналах / Н. Л. Егоров, О. Д. Лойцкер // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 8. – С. 48–51.
- 19 Gleick, P. H. Global freshwater resources: soft-path solution for the 21st century / P. H. Gleick // Science. – 2003. – № 302(5650). – P. 1524–1527.
- 20 Shiklomanov, I. A. World water use and water availability: trends, scenarios, consequences / I. A. Shiklomanov, J. A. Balonishnikova // Water Resources Systems – Hydrological Risk, Management and Development. – 2003. – № 281. – P. 358–364.

References

- 1 Tarasenko V.V., 2000. *Energoberezhenie i yego rol' v reshenii ekologicheskikh problem* [Energy saving and its role in solving environmental problems]. *Energoeffektivnost* [Energy Efficiency], no. 10, pp. 15-16. (In Russian).
- 2 Letyagina E.N., 2011. *Netraditsionnaya elektroenergetika: tseli i zadachi razvitiya* [Non-traditional electric power industry: goals and tasks of development]. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovatsii* [Modern Scientific Research and Innovations], no. 6, available: <http://web.snauka.ru/issues/2011/10/4883>. (In Russian).
- 3 Tishchenko A.I., Gostishchev V.D., 2017. *Metodicheskie ukazaniya po proektirovaniyu derivatsionnykh orositel'nykh sistem* [Methodical instructions on the design of diversion irrigation systems]. *Katalog pasportov nauchno-tekhnicheskikh dostizhenij, rekomenduemykh dlya ispol'zovaniya v melioratsii i vodnom khozyaystve* [The Catalogue of passports of scientific and technical achievements recommended for use in land reclamation and water management]. FGBNU VNII “Rainbow”, Kolomna, issue 40, pp. 13-14. (In Russian).
- 4 Butenin N.V., Lunts Ya.L., Merkin D.R., 2009. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki. V 2 t. T. 1. Statika i kinematika. T. 2. Dinamika: ucheb. posobie dlya vuzov po tekhn. spetsial'nostyam* [The course of theoretical mechanics. In 2 volumes. T. 1. Statics and kinematics. T. 2. Dynamics: Textbook]. 11th ed. St. Petersburg, Lan' Publ., 2 vol. (In Russian).
- 5 Kolesnikov K.S., Dubinin V.V., 2011. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki: ucheb. dlya vuzov* [Course of Theoretical Mechanics: Textbook for universities]. Moscow, MSTU, 758 p. (In Russian).
- 6 Nikitin N.N., 2011. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki: uchebnik* [Course of Theoretical Mechanics: textbook]. 8th ed., St. Petersburg, Lan' Publ., 720 p. (In Russian).
- 7 Chugaev R.R., 1975. *Gidravlika: uchebnik* [Hydraulics: textbook]. Leningrad, Energiya Publ., 600 p. (In Russian).
- 8 Bogomolov A.I., Mikhaylov K.A., 1972. *Gidravlika: uchebnik* [Hydraulics: textbook]. 2nd ed., Moscow, Stroyizdat Publ., 648 p. (In Russian).

9 Kiselev P.G., 1980. *Gidravlika: osnovy mekhaniki zhidkosti: ucheb. posobie dlya vuzov* [Hydraulics: the Basis of Fluid Mechanics: Textbook for Universities]. Moscow, Ener-gia Publ., 360 p. (In Russian).

10 Tishchenko A.I., 2008. *Setevye gidrotekhnicheskie sooruzheniya: monografiya* [Network Hydraulic Structures: monograph]. Novocherkassk, YURSTU (NPI), 247 p. (In Russian).

11 Volkov I.M., Kononenko P.F., Fedychkin I.K., 1968. *Gidrotekhnicheskie sooru-zheniya: uchebnyk* [Hydraulic Structures: textbook]. Moscow, Kolos Publ., 464 p. (In Russian).

12 Zheleznyakov G.V., Ibadzade Yu.A., Ivanov P.A., 1983. *Gidrotekhnicheskie sooru-zheniya* [Hydraulic Structures: Textbook]. Moscow, Stroiizdat Publ., 543 p. (In Russian).

13 Ol'garenko V.I., Ol'garenko G.V., Rybkin V.N., 2006. *Ekspluatatsiya i monitoring meliorativnykh sistem* [Exploitation and Monitoring of Reclamation Systems]. Kolomna, 391 p. (In Russian).

14 *Ekspluatatsiya gidromeliorativnykh sistem (posobie k SNIp 2.06.03-85 «Meliora-tivnye sistemy i sooruzheniya»)* [Operation of irrigation and drainage systems (guide to SNIp 2.06.03-85 “Irrigation systems and structures”)]. Soyuzvodproekt. Moscow, Kolos Publ., 1991, 59 p. (In Russian).

15 Kosichenko Yu.M., Baev O.A., 2014. *Protivofil'tratsionnye pokrytiya iz geosin-teticheskikh materialov: monografiya* [Anti-filtration coatings from geosynthetic materials: monograph]. Novocherkassk, RosNIIPM, 239 p. (In Russian).

16 Masumov R.R., 2015. *Metody izmereniya raskhoda vody na rekakh i kanalakh, v napornykh truboprovodakh nasosnykh stantsiy i orositel'nykh sistem: obzor* [Methods for measuring water flow in rivers and canals, in pressure pipelines of pumping stations and irri-gation systems: a review]. Tashkent, 84 p. (In Russian).

17 Vyazmin Yu. A. [and others], 2013. *Novaya redaktsiya metodiki izmereniya raskhoda i ob'yema zhidkosti v beznapornykh vodovodakh* [New edition of the methodology for measuring flow and volume of liquid in free flowing water ways: MI 2220-13]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering], no. 8, pp. 76-78. (In Russian).

18 Egorov N.L., Loytsker O.D., 2012. *Obespechenie dostovernosti izmereniy raskhoda vody v trubakh bol'shogo diametra i beznapornykh kanalakh* [Ensuring the reliability of meas-urements of water flow in large-diameter pipes and gravity channels]. *Vodosnabzhenie i sani-tarnaya tekhnika* [Water Supply and Sanitary Engineering], no. 8, pp. 48-51. (In Russian).

19 Gleick P.H., 2003. Global freshwater resources: soft-path solution for the 21th cen-tury. *Science*, no. 302(5650), pp. 1524-1527. (In English).

20 Shiklomanov I.A., Balonishnikova J.A., 2003. World water use and water availabil-ity: trends, scenarios, consequences. *Water Resources Systems – Hydrological Risk, Man-agement and Development*, no. 281, pp. 358-364. (In English).

Гостищев Дмитрий Петрович

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор кафедры почвоведения, экологии и природопользования

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный университет по землеустройству»

Адрес организации: ул. Казакова, 15, г. Москва, Российская Федерация, 105064

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Gostishchev Dmitry Petrovich

Degree: Doctor of of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Professor

Affiliation: The State University of Land Use Planning

Affiliation address: str. Kazakova, 15, Moscow, Russian Federation, 105064

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Тищенко Александр Иванович

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru

Tischenko Alexandr Ivanovich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346421

E-mail: aleks.tishencko2016@mail.ru

Гостищев Вячеслав Дмитриевич

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Ученое звание: доцент

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: Баклановский пр-т, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Gostishchev Vyacheslav Dmitriyevich

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: Baklanovsky ave., 190, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation. 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru