

Д.С. БЕГЛЯРОВ, Э.Е. НАЗАРКИН, А.М. БАКШТАНИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», г. Москва, Российская Федерация

АНАЛИЗ И УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРУКТУРЫ НАПОРНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Развитие строительства напорных систем водоподачи в РФ, особенно систем водоснабжения, предназначенных для подачи значительных объемов воды при очень больших давлениях, требует экономичных проектных решений для этих систем без лишних затрат, связанных с необоснованным увеличением их прочностных показателей. Это, в свою очередь, потребовало разработки методики расчета и его проведения. Определение начального потокораспределения в кольцевых трубопроводных сетях является сложной задачей и сводится к решению системы нелинейных уравнений, число которых равно числу замкнутых контуров (колец). Решение увязки колец осуществляется методом последовательных приближений. Представление кольцевой сети в виде разветвлённой упрощает задание ее структуры, но не является единственно возможным. Разработка алгоритма расчета проводилась в соответствии с составленной моделью переходных процессов в напорных системах с насосными станциями. Принятая структура алгоритма расчета позволяет проводить любые дополнения, расширяющие его возможности, без каких-либо его изменений. Значение скорости распространения волн принимается для расчетов, соответствующим отсутствию в воде нерастворенного воздуха. В данной статье рассматривается дальнейшая разработка методики расчета переходных процессов в напорных кольцевых сетях и более точный учет отдельных факторов, влияющих на эти процессы.

Гидравлика, напорная система водоснабжения, кольцевая сеть, насосная станция, напор, скорость движения воды, волны изменения напора.

Введение. Каждая напорная система водоподачи представляет собой комплекс насосных станций, трубопроводов и водопотребителей, связанных между собой [1, 5]. В частном случае в этой системе может быть: одна насосная станция, один трубопровод и один водопотребитель, но и в этом случае они должны рассматриваться совместно. Все эти элементы должны быть отражены и связаны между собой в математической модели, описывающей переходные процессы в напорных системах [6, 7, 8]. В принятой математической модели любая напорная система изображается в виде некоторого графа, ребра которого соответствуют трубопроводам, а вершина – узлам.

Для описания нестационарных процессов движения воды в трубопроводах служат уравнения, которые представляют собой дифференциальную форму уравнения неразрывности и уравнения количества движения [6, 7, 8]. В узлах задается связь между этими уравнениями, которой определяются условия отражения волн (краевые условия). В данной статье рассматривается вопрос, как задается связь между элементами напорной водопроводной системы.

Материалы и методы исследований.

Определение начального потокораспределения в кольцевых трубопроводных сетях является более сложной задачей. Если для разветвленных сетей, вне зависимости от диаметров трубопроводов, отбираемые в узлах сети расходы однозначно определяют потоки воды в линиях, то в кольцевых сетях потокораспределение будет зависеть от их гидравлических сопротивлений. Определение потокораспределения в кольцевых трубопроводных сетях сводится к решению системы нелинейных уравнений, число которых равно числу замкнутых контуров (колец). Решение увязки колец осуществляется методом последовательных приближений. Обычно начальные (нулевые) приближения задаются значениями расходов воды по линиям сети, удовлетворяющими первому закону Кирхгофа (равенство нулю алгебраической суммы расходов в каждом узле сети). Расчет сводится к нахождению поправочных расходов по каждому контуру (кольцу), при сложении которых с начальными, будут удовлетворяться условия, определяемые вторым законом Кирхгофа (сумма потерь напора для каждого

замкнутого контура равняется нулю). Таким образом, до расчета переходных процессов кольцевая сеть должна быть «увязана».

Любую кольцевую сеть можно представить в виде разветвленной, если условно разрезать каждое кольцо, сети [2, 9]. Условиями, при которых разветвленная сеть будет полностью эквивалентна кольцевой, будут: равенство напоров в двух условных узлах, возникших в результате условного разреза кольца, и равенства расхода в одной из образовавшихся тупиковых линий расходу в другой тупиковой линии со знаком минус, при этом знак минус определяется принятием в методике правила о нумерации узлов и знаке расхода, соответствующего его направлению.

За нуль принят узел – «насосная станция». Порядок нумерации почти произволен – выбирается направление до любого кольцевого узла и по этому направлению нумеруются все узлы расчетной схемы от 0-го до n_1 – го. Затем выбирают следующее направление от любого занумерованного узла до конечного и т.д. до n -го последнего узла. Номер каждого трубопровода принимается равным большему номеру из двух узлов, которые он соединяет. Направление движения воды в трубопроводе (скорость движения) будет считаться положительным, если поток направлен от узла с меньшим номером к узлу с большим номером. Однако в самой расчетной схеме распределение потоков воды в трубопроводах не задается, указываются лишь отборы воды в узлах схемы [4].

Результаты исследований. Расчетную схему в этом случае рассмотрим на примере шестикольцевой сети, показанной на рис. 1, то есть при числе дополнительных условных конечных точек, равном $6 \times 2 = 12$. Разрывы контуров дают 12 дополнительных точек: 10, 26, 12, 14, 19, 22, 27, 29, 32, 34, 18, 25.

Узловые расходы в точках 12, 18, 19, 26, 27, 34 приняты положительными, а в точках 10, 14, 22, 25, 29, 32 – отрицательными.

При расчете переходных процессов в этой сети напоры в точках 12, 18, 19, 26, 27, 34 принимаются равными напорам в точках 10, 14, 22, 25, 29, 32, а расходы воды в сечениях, примыкающих к узлам 12, 18, 19, 26, 27, 34 – равными расходам воды в сечениях, примыкающих к узлам 10, 14, 22, 25, 29, 32, но со знаком минус.

Фактически пара условных конечных точек k и m представляет из себя обычную простую точку расчетной схемы, поэтому в условиях сохранения сплошности потока значения

напора и скорости движения воды будут определяться подошедшими волнами $\varphi_k(k-1), j$ и $\varphi_m(m-1), j$ (j – расчетный момент времени).

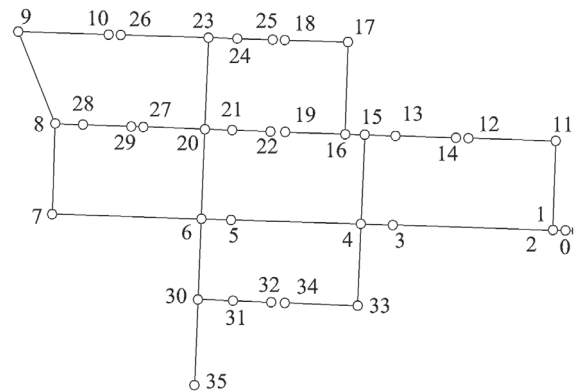


Рис. 1. Схема трубопроводной сети для расчета переходных процессов

В случае, когда расход воды на участке k будет положительный, соответственно, на участке m – отрицательный, формулы для определения напоров и скоростей движения воды в точках k и m могут быть записаны в следующем виде [4]:

$$H_{k,j} = H_{k,o} + \varphi_{k(k-1),j} + \psi_{k,j}, \quad (1)$$

$$V_{k,j} = V_{k,o} + \frac{g}{a_k} (\varphi_{k(k-1),j} - \psi_{k,j}), \quad (2)$$

$$H_{m,j} = H_{m,o} + \varphi_{m(m-1),j} + \psi_{m,j} \quad (3)$$

$$V_{m,j} = V_{m,o} + \frac{g}{a_m} (\varphi_{m(m-1),j} - \psi_{m,j}) \quad (4)$$

где $H_{k,j}$ и $V_{k,j}$, $H_{m,j}$ и $V_{m,j}$ – значения напора и скорости движения воды в сечении, примыкающем к точкам k и m в момент времени j ; $H_{k,o}$ и $V_{k,o}$, $H_{m,o}$ и $V_{m,o}$ – значения напора и скорости движения воды в сечении, примыкающем к точкам k и m в начальный (нулевой) момент времени; $\varphi_{k(k-1),j}$, $\varphi_{m(m-1),j}$ – волны изменения напора, распространяющиеся в направлении начальной скорости, подошедшие к точкам k и m в момент времени j от точек $(k-1)$ и $(m-1)$; $\psi_{k,j}$ и $\psi_{m,j}$ – волны изменения напора, распространяющиеся против направления начальной скорости, возникшие в точках k и m в момент времени j ; g – ускорение свободного падения; a – скорость распространения волн изменения давления в точках k и m .

Так как $H_k = H_m$, то $\varphi_{k(k-1),j} + \psi_{k,j} = \varphi_{m(m-1),j} + \psi_{m,j}$. В условиях сохранения сплошности потока $V_k = V_m$ и поэтому

$$\psi_{k,j} = \varphi_{m(m-1),j}$$

и

$$\psi_{m,j} = \varphi_{k(k-1),j}$$

При образовании кавитационного разрыва сплошности потока значения волн $\psi_{k,j}$ и $\psi_{m,j}$ определяются из условия равенства давления в точках k и m P_{min}

$$\psi_{k,j} = \frac{P_{min}}{\rho g} + Z_k - H_{k,o} - \varphi_{k(k-1),j}, \quad (5)$$

$$\psi_{m,j} = \frac{P_{min}}{\rho g} + Z_m - H_{m,o} - \varphi_{m(m-1),j}, \quad (6)$$

где Z_k и Z_m – отметки оси трубопровода в точках k и m ; ρ – плотность воды.

Представление кольцевой сети в виде разветвлённой упрощает задание ее структуры, но не является единственно возможным.

Разработка алгоритма расчета проводилась в соответствии с составленной моделью переходных процессов в напорных системах с насосными станциями. Алгоритм можно условно подразделить на три части: первая, которой осуществляется ввод исходных данных и переработка их к виду, необходимому для проведения расчетов переходных процессов; вторая, которой предусматривается непосредственный расчет переходных процессов в напорных системах с насосными станциями, и третья, которой осуществляется выдача результатов расчетов и анализ, определяющий переход к расчету следующего варианта или к окончанию расчета. Укрупненная блок-схема алгоритма показана на рисунке 2.

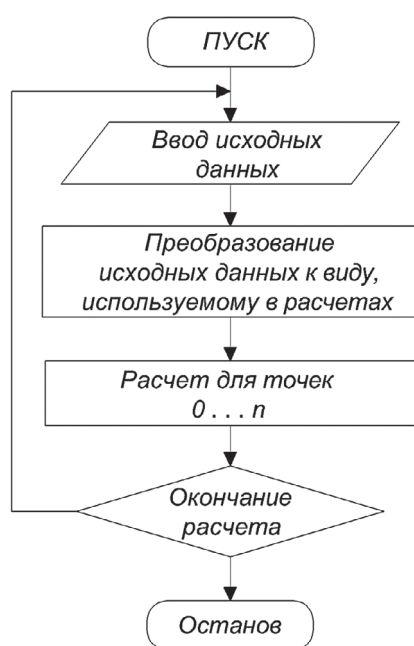


Рис. 2. Укрупненная блок-схема алгоритма

Выводы

1. Принятая структура алгоритма расчета позволяет проводить любые дополнения, расширяющие его возможности, без каких-либо его изменений.

2. Разработана и реализована компьютерная программа для выполнения расчетов переходных процессов в сложных кольцевых системах с насосными станциями для систем водоснабжения.

3. Значение скорости распространения волн принимается для расчетов, соответствующим отсутствию в воде нерастворенного воздуха.

Библиографический список

1. Али М.С., Бегляров Д.С., Чебаевский В.Ф. Насосы и насосные станции: Учебник. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 330 с.
2. Али М.С., Вишневский К.П. Математическое моделирование процессов в напорных системах при автоматическом регулировании работы насосных станций // Мелиорация и водное хозяйство. – 1990. – № 2. – С. 12.
3. Али М.С., Рожков А.Н. Водозаборные сооружения поверхностных и подземных вод: Учебник. – М.: изд-во РГАУ-МСХА, 2016. – 100 с.
4. Али М.С., Сабра К.С. Особенности работы центробежных насосов с использованием преобразователя частоты вращения // Природообустройство. – 2013. – № 5. – С. 64-67.
5. Али М.С., Бегляров Д.С., Бекишев Б.Т., Греков Д.М. Анализ нестационарных процессов при нештатных режимах работы насосных станций // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования “Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина”. – 2016. – № 2 (72). – С. 35-39.
6. Бегляров Д.С., Али М.С. Исследования переходных процессов в напорных коммуникациях насосных станций с осевыми насосами при пуске агрегатов // Природообустройство. – 2015. – № 3. – С. 74-78
7. Бегляров Д.С., Али М.С. Расчетно-теоретические исследования переходных процессов в напорных системах водоподачи с учетом установки разрывных мембран на объекте “Эль-баб” в сирийской арабской республике. // Природообустройство. – 2018. – № 3. – С. 23-30.
8. Карамбиров С.Н. Новые подходы в моделировании и оптимизации трубопроводных

систем. Основы, концепции, методы. – LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 355с

10. **Рожков А.Н., Али М.С.** Экономическая эффективность применения насосных установок с регулируемым электроприводом при малых подачах воды // Водоснабжение и санитарная техника. – 2015. – № 5. – С. 69-72.

Материал поступил в редакцию 12.04.2019 г.

Сведения об авторах

Бегляров Давид Суменович, доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения;

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: viv@rgau-msha.ru

Назаркин Эдуард Евгеньевич, аспирант кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, ул. Тимирязевская, 49; e-mail: nazarkine@rgau-msha.ru

Бакштанин Александр Михайлович, доцент, кандидат технических наук; ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, г. Москва, Тимирязевская ул., 49; e-mail: bakshtanin@mail.ru

D.S. BEGLYAROV, E.E. NAZARKIN, A.M. BAKSHTANIN

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

ANALYSIS AND CONSIDERATION OF THE PECULIARITIES OF THE STRUCTURE OF THE PRESSURIZED WATER SUPPLY SYSTEMS WHEN CALCULATING TRANSIENTS

The development of construction of pressure water supply systems in the Russian Federation, especially water supply systems intended for supplying significant amounts of water at very high pressures, requires cost-effective design solutions for these systems without unnecessary costs associated with an unreasonable increase in their strength performance. This, in turn, required the development of calculation methods and their implementation. Determining the initial flow distribution in ring pipe networks is a difficult task and it comes to solving a system of nonlinear equations, the number of which is equal to the number of closed loops (rings). The solution of rings connection is carried out by the method of successive approximations. Presentation of the ring network as a branched one simplifies setting its structure, but it is not the only possible one. The development of the calculation algorithm was carried out in accordance with the compiled model of transients in pressure systems with pumping stations. The accepted structure of the calculation algorithm allows you to make any additions that expand its capabilities, without any of its changes. The value of the wave propagation velocity is taken for calculations corresponding to the absence of undissolved air in the water. This article considers a further development of the calculating methods for transients in pressure ring networks and a more accurate account of some factors influencing these processes.

Hydraulics, pressure water supply system, ring network, pumping station, head, water velocity, pressure change waves.

References

1. **Ali M.S., Beglyarov D.S., Chebaevsky V.F.** Nasosy Nasosy i nasosnye stantsii: Uchebnik. – M.: Izd Izd-vo RGAU-MSHA, 2015. – 330 s.

2. **Ali M.S., Vishnevsky K.P.** Matematicheskoe modelirovanie protsessov v napornykh sistemah pri avtomaticheskom regulirovanii raboty nanosnykh stantsij // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 1990. – № 2. – S. 12.

4. **Ali M.S., Rozhkov A.N.** Vodozabornye sooruzheniya poverhostnykh i podzemnykh vod: Uchebnik. – M.: Izd Izd-vo RGAU-MSHA, 2016. – 100 s.

5. **Ali M.S., Sabra K.S.** Osobennostiraboty tsentrobezhnykh nasosov s ispolzovaniem preobrazovatelya chastoty vrashcheniya // Prirodoobustrojstvo. – 2013. – № 5. – S. 64-67.

6. **Ali M.S., Beglyarov D.S., Али М.С., Bekishev D.S., Grekov D.M.** Analiz neshtatsionarnykh protsessov pri neshtatnykh rezhimakh raboty nasosnykh stantsij // Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovsky gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina». – 2016. – № 2 (72). – S. 35-39.

7. **Beglyarov D.S., Ali M.S.** Issledovaniya perehodnyh protsessov v napornyh kommunikatsiyah nasosnyh stantsij s osevyimi nasosami pri puske agregatov // Prirodoobustrojstvo. – № 3. – S. 74-78

8. **Beglyarov D.S., Ali M.S.** Raschetno-teoreticheskie issledovaniya perehodnyh protsessov v napornyh sistemah vodopodachi s uchetom ustanovki razryvnyh membran na objekte «El-bab» v sirijskoj arabskoj respublike. // Prirodoobustrojstvo. – 2018. – № 3. – S. 23-30.

9. **Karambirov S.N.** Novye podhody Novye podhody v modelirovanii i optimizatsii truboprovodnyh sistem. Osnovy, kontseptsii. Metody. – LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 355 s Prirodoobustrojstvo.

10. **Rozhkov A.N., Ali M.S.** Ekonomicheskaya effektivnost primeneniya nasosnyh ustanovok s reguliruemym elektroprovodom pri malyh podachah vody // Vodosnabzhenie i sanitarnaya tehnika. – 2015. – № 5. – S. 69-72.

The material was received at the editorial office
12.04.2019 g.

Information about the authors

Beglyarov David Surenovich, doctor of technical sciences, professor of the chair of agricultural water supply and drainage; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; e-mail: viv@rgau-msha.ru

Nazarkin Eduard Evgenevich, graduate student of the department of agricultural water supply and drainage; FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, ul. Timiryazeva, 49; e-mail: nazarkine@rgau-msha.ru

Bakshtanin Alexander Mikhailovich, associate professor, candidate of technical sciences, FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev, Timiryazevskaya ul., 49.; e-mail: bakshtanin@mail.ru

УДК 502/504:551.435.13

DOI 10.34677/1997-6011/2019-4-95-102

В.Б. ЖЕЗМЕР, А.О. ЩЕРБАКОВ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова», г. Москва, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ПРОЦЕССЫ МЕАНДРИРОВАНИЯ И РУСЛООБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ

Вопрос о методах расчетов перемещения донных наносов и возникающих при этом русловых образований на гидравлические сопротивления русел, в том числе при наличии растительности в прирусловой части поймы, в настоящее время стоит особенно остро. Методы расчетов коэффициентов шероховатости и пропускной способности пойм нельзя признать совершенными. Погрешности расчетов при определении коэффициентов шероховатости заросших пойм и сильно меандрированных русел по таблицам Срибного, Чоу, Бредли и Карасева значительно превышают допустимые. Свою точку зрения, касающуюся одного из частных вопросов влияния растительности на процессы руслообразования и базирующуюся на многолетних наблюдениях, высказывают авторы настоящей статьи. Одной из причин возникновения погрешностей при расчетах пропускной способности пойм является наличие растительности. Увеличением коэффициента шероховатости влияние растительности, особенно древесной, не ограничивается. Действие растительности значительно более многообразно. Произрастающая в виде длинных вытянутых обособленных полос древесная растительность способствует разделению поймы на отдельные участки составного профиля. Мощность осаждений на таких участках может в разы превышать расчетную (вычисленную с использованием общепринятого коэффициента шероховатости). Наличие растительности способствует отложению осаждений, увеличивающих размывающую способность потока по отношению к противоположному берегу. Это ведет к существенному снижению, по сравнению с расчетным, реального срока эксплуатации расположенных на размываемом берегу сооружений. Для корректировки расчетов в каждом конкретном случае