

The material was received at the editorial office
23.12.2019

Information about the author

Klepov Vladimir Pyich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department

of Hydrology, Hydrogeology and Flow Regulation, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education, Moscow State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev; 127550, Moscow, st. Pryanishnikova, 19; e-mail: viklepov@rambler.ru

УДК 502/504:532.5:626.8

DOI 10.34677/1997-6011/2020-1-100-104

М.С. АЛИ, Д.С. БЕГЛЯРОВ, А.Ю. ТИТАЕВА

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

Е.А. ЛЕНТЯЕВА

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

РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛИ НАСОСОВ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ В НАПОРНЫХ СИСТЕМАХ

В состав гидроэнергетических комплексов входят напорные системы с насосными станциями, которые гарантируют подачу заданного количества воды на определенные высоты. Современные напорные системы характеризуются разнообразием и сложностью. Непрерывно усложняются и совершенствуются элементы управления этими системами и, в первую очередь, насосными станциями. В связи с этим особенно важным становится вопрос выбора оптимального варианта при проектировании этих систем. При этом необходимо учитывать переходные процессы. Возникновение переходных процессов в большинстве случаев связано с изменением режима работы насосных агрегатов. Переходные процессы зачастую сопровождаются значительными отклонениями таких характеристик напорных систем, как давления в трубопроводах и насосах, от их значений при рабочих режимах. Поэтому необходимо иметь возможность определить изменения этих параметров. В работе на основе теоретического обобщения существующих методик расчета приведена математическая модель переходных режимов в насосных станциях, учитывающая их автоматическую работу и волновые процессы во внутри станционных напорных коммуникациях.

Насосные станции, насос, внутростанционные коммуникации, противоударная арматура, переходные процессы, математические модели.

Введение. Любые изменения режима работы насосов приводят к возникновению переходных процессов в напорных системах. Наиболее распространенной и практически неустранимой причиной, вызывающей гидравлические переходные процессы в напорных системах, является аварийное отключение электропитания двигателей насосов.

Причинами, провоцирующими возникновение гидравлических переходных процессов, могут быть: первоначальные пуски насосных агрегатов при заполнении водой системы, плановые отключения и пуски насосов, регулирование их работы. Таким образом, главными источниками возмущения

потоков воды в напорных системах являются насосы и насосные станции. Как правило, все насосы в расчетной схеме напорной системы могут учитываться индивидуально или в целом, как насосная станция.

Математические модели насосов должны учитывать их отдельные особенности.

При учете каждого насоса, установленного на насосной станции в отдельном узле расчетной схемы, можно получить более точное воспроизведение переходных процессов, однако, во многих случаях в этом нет необходимости, и все насосы станций совместно с напорными коммуникациями более удобно считать сосредоточенными в одном узле.

Переходные процессы, вызываемые изменением режима работы насосов, как правило, следует рассматривать с учетом трубопроводной арматуры, установленной на их напорных линиях, поскольку ее действие можно в значительной степени влиять на эти процессы, в отдельных неблагоприятных случаях эта арматура может являться дополнительным источником возникновения переходных процессов.

Материалы и методы исследования. Для насоса возникновение переходного процесса, согласно его определению, как перехода из одного условно стационарного в другой условно стационарный режим, будет иметь место при отключении, то есть при переходе из рабочего состояния вне-рабочее и в обратном порядке, при его запуске.

В рабочем стационарном режиме насос подает воду в систему, создавая при этом напор H , затрачиваемый на подъем воды до высоты H_r и на преодоление гидравлических сопротивлений h , то есть $H = H_r + h$. Приняв суммарное гидравлическое сопротивление за S , можно записать выражение для определения напора насоса, как: $H = H_r + SQ^2$, где Q – расход воды в трубопроводе, приравняемый, в данном случае, к подаче насоса. С другой стороны, между напором насоса и его подачей существует зависимость, определяемая его напорной характеристикой, поэтому значения Q и H при нормальном режиме находятся путем пересечения характеристик насоса $H-Q$ с характеристикой трубопровода $H_{тр} = H_r + S \cdot Q^2$.

При нормальном режиме работы, ротор насосного агрегата имеет постоянную частоту вращения. Рабочая частота вращения ротора насосного агрегата будет меняться тогда, когда момент, развиваемый двигателем, станет неравным моменту инерции, потребляемому насосом. При этом изменение угловой скорости W или частоты вращения n описывается уравнениями:

$$I \frac{dw}{dt} = M_d - M_n, \quad (1)$$

$$\frac{dn}{dt} = \frac{375}{GD^2} (M_d - M_n), \quad (2)$$

где: I – момент инерции вращающихся масс ротора насосного агрегата; w – угловая скорость частоты вращения; n – частота вращения ротора насосного агрегата; M_d – момент, развиваемый электродвигателем; M_n – момент сопротивления насоса; GD^2 – момент инерции ротора насосного агрегата.

Таким образом, при отключении насоса его частота вращения изменяется от номинальной n_0 , соответствующей нормальным условиям работы, до нуля (полная остановка ротора агрегата), а при пуске от нуля до n_0 .

Результаты и обсуждение. Напорные характеристики насосов $H-Q$, приводимые в каталогах, представляют собой графические зависимости напора от подачи $H = f(Q)$ при постоянной частоте вращения n_0 . Для получения значений H и Q при других частотах вращения n_1 могут быть использованы формулы, полученные на основе теории подобия насосов:

$$Q_1 = Q(n/n_0), \quad (3)$$

$$H_1 = H(n/n_0)^2 \quad (4)$$

Удобнее пользоваться при этом характеристиками в относительных координатах, например, $(H/n^2 - Q/n)$, полученных также в соответствии с теорией подобия насосов. В данной работе принята форма напорных характеристик в координатах: $(H/\beta^2 - Q/\beta)$, где $\beta = n/n_0$ – относительная частота вращения. На рисунке показаны характеристики центробежного вертикального насоса, построенные для двух значений аргумента Q/n и n/Q .

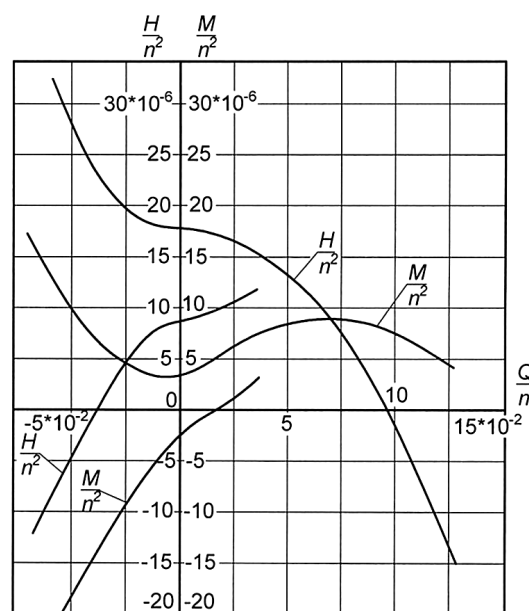


Рис. Четырех квадрантные характеристики насоса

Для определения изменения частоты вращения n должны быть известны значения M_d и M_n . Момент асинхронных

двигателей M_d может быть определен как функция частоты вращения:

$$M_d = \frac{(M_{кр} + \varepsilon)}{S / S_{кр} + S_{кр} / S + 2\varepsilon}, \quad (5)$$

где $M_{кр}$ – величина критического момента; $S_{кр}$ – величина критического момента скольжения; $\varepsilon = S_{кр} \tau_1 / c_1 \cdot \tau_2$; $c_1 = 1 + J_o / 2 \cdot J_{к1}$; τ_1 – активное сопротивление фазы ротора статора; τ_2 – активное сопротивление фазы ротора, приведенное к статору; J_o – ток холостого хода; $J_{к}$ – ток короткого замыкания

Момент сопротивления насоса M_n является функцией Q и n . Значения M_n в каталогах насосов не приводятся. Однако, в этих каталогах даются значения n_o , но поскольку $N = M \cdot w$, значение M_n может быть получено пересчетом каталожных значений мощности по формуле:

$$M = \frac{975}{n_i} N. \quad (6)$$

Значение M может быть определено и по характеристикам:

$$M_n = M / \beta^2 \cdot \beta^2 + \text{Sign}(\beta) M_{тр}. \quad (7)$$

Для численного решения и в связи с использованием в расчетах относительной частоты вращения β формула (2) преобразуется к виду:

$$\Delta\beta = \frac{\Delta n}{n_o} = \frac{375}{GD^2 n_o} \cdot (M_d - M_n) \cdot \Delta t. \quad (8)$$

Неизвестные напоры, $H_{i(i+1),j}$ и скорости движения воды $V_{i(i-1),j}$, $V_{i(i+1),j}$ в сечениях, примыкающих к точке установки насоса, связаны зависимостями:

$$H_{i(i-1),j} = H_{i(i-1),o} + \varphi_{i(i-1),j} + \psi_{i,j}, \quad (9)$$

$$V_{i(i-1),j} = V_{i(i-1),o} + \frac{g}{\alpha} \cdot [\varphi_{i(i-1),j} - \psi_{i,j}], \quad (10)$$

$$H_{i(i+1),j} = H_{i(i+1),o} + \varphi_{i,j} + \psi_{i(i+1),j}, \quad (11)$$

$$V_{i(i+1),j} = V_{i(i+1),o} + \frac{g}{\alpha} \cdot [\varphi_{i,j} - \psi_{i(i+1),j}], \quad (12)$$

где $H_{i(i-1),j}$ и $V_{i(i-1),j}$, $H_{i(i-1),o}$ и $V_{i(i-1),o}$ – значения напора и скорости движения воды в сечении, примыкающем к точке i со стороны точки $(i-1)$ в момент времени j и соответственно в начальной (нулевой) момент времени; $H_{i(i+1),j}$ и $V_{i(i+1),j}$, $H_{i(i+1),o}$ и $V_{i(i+1),o}$ – значения напора и скорости движения воды в сечении, примыкающем к точке i со стороны точки $i+1$ в момент времени j и соответственно в нулевой момент времени; $\varphi_{i(i-1),j}$, $\psi_{i(i+1),j}$ – волны изменения напора, подошедшие от точки $i+1$; $\varphi_{i,j}$, $\psi_{i,j}$ – волны изменения напора, возникшие в точке i в момент времени j в результате подхода волн $\varphi_{i(i-1),j}$, $\psi_{i(i+1),j}$.

При подаче всей воды от насоса Q_n в трубопровод значение расхода равно $Q_i = V_i \cdot w = Q_n$.

Напор в трубопроводе H_i будет всегда несколько отличаться от напора насоса, так как при движении воды всегда имеют место потери напора на преодоление гидравлического сопротивления S_n , поэтому $H_i = H_n - S_n / Q_n / Q_n$, где потери напора записаны в виде $S_n / Q_n / Q_n$, так как при переходном процессе вода через насос может двигаться и в обратном направлении. Потери напора в напорных линиях в основном определяются местными гидравлическими сопротивлениями. В особенности необходимо учитывать гидравлические сопротивления трубопроводной арматуры, так как их значение зависит от степени открытия, которая может изменяться в любых пределах.

Выводы

1. Существующие модели позволяют учитывать насосную станцию как в виде одного узла схемы напорной системы, так и рассматривать каждый насосный агрегат индивидуально в отдельном узле при различных режимах работы.

2. Расположение каждого насосного агрегата в отдельном узле дает возможность проводить расчеты переходных процессов, вызванных изменением режима одного из нескольких параллельно соединенных насосов, учитывая при этом распространение волн в напорных коммуникациях.

Библиографический список

1. Али М.С., Бегляров Д.С. Модель расчетного обоснования регулирования расхода в каскаде насосных станций путем дросселирования напора // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 62-65.

2. Али М.С., Бегляров Д.С. Исследования переходных процессов в напорных коммуникациях насосных станций с осевыми насосами при пуске агрегатов // Природообустройство. – 2015. – № 3. – С. 74-78.

3. 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. 12-15.

4. Анализ нестационарных процессов при нештатных режимах работы насосных станций / Али М.С., Бегляров Д.С., Бекишев Б.Т., и др. // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования

«Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»». – 2016. – № 2 (72). – С. 35-39.

5. **Виссарионов В.И.** Математическое моделирование переходных процессов в насосных установках. / Сб. Проблемы и направления развития гидромашиностроения. – М.: Машиностроение, 1978. – С. 16-18.

6. **Карамбиров С.Н.** Новые подходы в моделировании и оптимизации трубопроводных систем. Основы, концепции, методы. – LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 355 с.

7. **Стритер В.** Численные методы расчета нестационарных течений // Теоретические основы инженерных расчетов. – 1972. – № 2. – С. 218-228.

Материал поступил в редакцию 31.10.2019 г.

Сведения об авторах

Али Мунзер Сулейман, кандидат технических наук, доцент кафедры

сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, Тимирязевская, 49; e-mail: munzer@yandex.ru

Бегляров Давид Суренович, доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и насосных станций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, Тимирязевская, 49; e-mail: beglarivd@rgau-msha.ru

Лентяева Екатерина Алексеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий ФГБНУ ВНИИГиМ имени А.Н. Костякова; 127550, Москва, Б. Академическая, д. 44, к. 2; e-mail: elentyaeva@mail.ru

Титаева Алина Юрьевна, магистрант 2 года обучения кафедры сельскохозяйственного водоснабжения и насосных станций ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Москва, Тимирязевская, 49; e-mail: titaeva.alina.96@yandex.ru

M.S. ALI, D.S. BEGLYAROV, A.YU. TITAEVA

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

E.A. LINTYAEVA

Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov», Moscow, Russian Federation

SOLVING OF PRACTICAL PROBLEMS BY USING PUMPS MODEL AT TRANSIENT CONDITIONS IN PRESSURE SYSTEMS

The structure of hydropower complexes includes pressure systems with pumping stations which provide the necessary amount of water to the specified heights. Modern pressure systems are complex and diverse. Continuously control elements of these systems and, first of all, pumping stations get more complicated and improved. In this regard, it is particularly important to choose the best option in the design of these systems. And it is necessary to consider transition processes. The occurrence of transient processes in most cases is connected with changing the pump mode of the unit's operation. Transient's processes can often be accompanied by significant deviations of such characteristics of pressure systems as pressure in pipelines and pumps differing from their operating values. Therefore, it is necessary to be able to determine changes in these parameters. On the basis of the theoretical generalization of the existing calculation methods, there is presented a mathematical model of transient modes in pump stations taking into account their automatic operation and wave processes in intra-station pressure communications.

Pump stations, pump, internal communications, shockproof valves, transient processes, mathematical models.

References

1. **Ali M.S., D.S. Beglarov.** Model raschetnogo obosnovaniya regulirovaniya raskhoda v kaskade nasosnyh stantsij putem drosselirovaniya napora // Prirodobustrojstvo. – 2017. – № 1. – S. 62-65.

2. **Ali M.S., Beglyarov D.S.** Issledovaniya perehodnyh protsessov v napornyh komunikatsiyah nasosnyh stantsij s osevyimi

nasosami pri puske agregatov // Prirodobustrojstvo. – 2015. – № 3. – S. 74-78.

3. **Ali M.S., Vishnevsky K.P.** Matematicheskoe modelirovanie protsessov v napornyh sistemah pri avtomaticheskom regulirovanii raboty nasosnyh stantsij // Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. – 1990. – № 2. – S. 12-15.

4. Analiz nestatsionarnykh protsessov pri neshtatnykh rezhimakh raboty nasosnykh

stantsij / Ali M.S., Beglyarov D.S., Bekishev B.T. i dr. // Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyy agroinzhenerny universitet imeni V.P. Goryachkina». – 2016. – № 2 (72). – S. 35-39.

5. **Vissarionov V.I.** Matematicheskoe modelirovanie perehodnyh protsessov v nasosnyh ustanovkah. / Sb. Problemy i napravleniya razvitiya gidromashinostroeniya. – M.: Mashinostroeniye, 1978. – S. 16-18.

6. **Karambirov S.N.** Novye podhody v modelirovanii i optimizaatsii truboprovodnyh sistem. Osnovy, kontseptsii, metody. – LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 355 s.

7. **Streeter V.** Chislennyye metody rascheta nestatsionarnykh techeniy // Teoreticheskie osnovy inzhenernykh raschetov. – 1972. – № 2. – S. 218-228.

The material was received at the editorial office
31.10.2019

Information about the authors

Ali Munzer Suleiman, candidate of technical sciences, associate professor of the chair

of agricultural water supply and drainage FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, st. Timiryazeva, 49; e-mail: munzer@yandex.ru

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, st. Timiryazeva, 49; e-mail: beglarivd@rgau-msha.ru

Lentyayeva Yekaterina Alekseyevna, candidate of technical sciences, senior researcher of the environmental and information technology department. Federal State Budget Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A.N. Kostyakov», Moscow, st. Bolshaya Akademicheskaya, 44; e-mail: elentyaeva@mail.ru

Titaeva Alina Yuryevna, undergraduate of the chair of agricultural water supply and drainage FSBEI HE RSAU-MAA named after C.A. Timiryazev; 127550, Moscow, st. Timiryazeva, 49; e-mail: titaeva.alina.96@yandex.ru

УДК 502/504: 532.5:626.88

DOI 10.34677/1997-6011/2020-1-104-110

**М.А. СКОРОБОГАТОВ¹, А.А. АНДРИАНОВА¹, Д.С. ПАВЛОВ²,
А.Е. ВЕСЕЛОВ³, Д.А. ЕФРЕМОВ³, М.А. РУЧЬЕВ³**

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Тверской государственный технический университет, Тверь, Российская Федерация

² Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Российская Федерация

³ Институт биологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр» РАН, г. Петрозаводск, Российская Федерация

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ГНЁЗД-ИНКУБАТОРОВ ДЛЯ ИКРЫ ЛОСОСЁВЫХ РЫБ С ВЫНОСНЫМ ВОДОЗАБОРНЫМ УСТРОЙСТВОМ

Возведение плотин, регулирование стока рек и безвозмездное водоизъятие нарушили веками сложившиеся условия обитания рыб. Большая часть нерестилиц в водохранилищах оказывается заиленной, а оставшиеся недоступны для производителей рыб. Обеспечение миграций рыб в реках в условиях зарегулирования и изъятия стока требует восстановления условий обитания рыб. Для этого разрабатываются различные технологии, в том числе с применением гнезд-инкубаторов. В статье приводится описание конструкции гнезда-инкубатора для инкубации икры лососёвых рыб с выносным водозаборным устройством, методика и пример гидравлического расчета устройства. При разработке методики использованы уравнение Бернулли и уравнение неразрывности. При расчётах учитывали потери напора по длине и в местных сопротивлениях от водозаборного устройства до створа выхода мальков в речной поток. Определяющим параметром при гидравлических расчетах является скорость обтекания инкубируемых икринок в лунках, которая должна находиться в определенном диапазоне. Границами являются: скорость, при которой личинка выносится из лунки искусственного инкубационного