

research bureau «GITEST»; 125212, Moscow, Leningradskoye shosse d. 43a; Tel./fax: 8 (495) 926-41-55; e-mail: 2800120@mail.ru.

Bortkevich Victor Stanislavovich, of

The Joint-stock company «Design, survey, research bureau «GITEST»; 125212, Moscow, Leningradskoye shosse d. 43a; Tel./fax:

8 (495) 926-41-55; e-mail: bvs@gitertest.ru.

УДК 502/504:626.83:532.5

М. С. АЛИ, Д. С. БЕГЛЯРОВ

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

Е. А. ЛЕНТЯЕВА

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

Д. Ш. АПРЕСЯН

Акционерное общество «Мосинжпроект», г. Москва

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В НАСОСНЫХ СТАНЦИЯХ С ВОДОВЫПУСКАМИ СИФОННОГО ТИПА

С развитием строительства крупных насосных станций и увеличением объема работ, выполняемых насосными агрегатами в системах водоснабжения (например, работа в режиме потребителя – регулятора энергосистемы) требования к надежности работы насосных станций и отдельных ее элементов повышаются. Для крупных насосных установок при напорах более 15 м характерны здания блочного типа с совмещенном вариантом водовыпуска. В станциях с осевыми насосами и сифонными водовыпусками простота конструкции приводит к большой растянутости по времени переходных процессов и, следовательно, к значительной продолжительности переменных динамических воздействий на сооружения и оборудование, поэтому при проектировании крупных насосных станций необходимо комплексно учитывать работу напорного тракта и технологического оборудования, основываясь на расчетах переходных процессов. В статье рассматривается созданная на основе теоретического обобщения существующих методов расчета математическая модель переходных процессов. Эта модель дает возможность провести с необходимой степенью точности расчеты переходных процессов в напорных трубопроводах с крупными насосными станциями и сифонными водовыпусками, входящих в комплексы сооружений водного хозяйства и гидроэнергетики.

Насосный агрегат, напорный трубопровод, осевой насос, переходные процессы, скорость распространения ударной волны, гидроудар, сифонный водовыпуск, гидравлические потери.

Целью исследований являлась разработка основ расчетного обоснования и проектирования, исследование напорной водоподдачи для крупных насосных станций блочного типа с водовыпусками сифонного типа. Несмотря на накопленный опыт строительства и эксплуатации подобных систем, пока еще нет достаточно общих методов расчета переходных процессов, обеспечивающих повышение надежности сооружений.

Материалы и методы. Гидравлические потери в водовыпуске, определяются формой проточной части. Геометрические размеры сифонного водовыпуска и расчетная схема представлена на рисунке 1. При конструировании сифонных водовыпусков,

для крупных насосных станций необходимо использовать следующие рекомендации [1]:

– проточная часть сифонного оголовка должна иметь прямоугольное, распластанное в плане, сечение (отношение ширины сечения к его высоте принимать в пределах 2,3...2,8);

– площадь сечения на гребне сифона должна быть равной площади напорного трубопровода (если на сифонный оголовок работает не один насос);

– высота сечения должна быть постоянной, начиная от горлового сечения до выхода, и с целью уменьшения вакуумной зоны и обеспечения быстрой зарядки сифона следует принимать равной $(0,55...0,60)D_{тр}$, тогда $b=(1,43...1,32)D_{тр}$ ($D_{тр}$ – требуемый диаметр

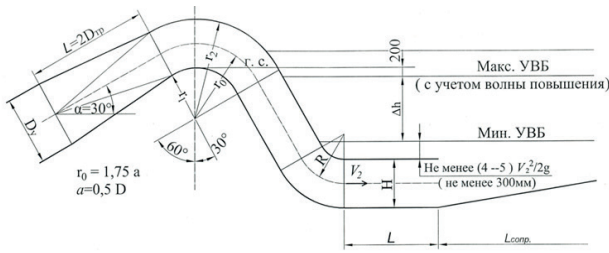


Рис. 1. Схема проточной части сифонного оголовка

сечения);

– переход от круглого сечения напорного трубопровода на прямоугольное выполнять в пределах восходящей ветви;

– относительное закругление горла сифона, исходя из безотрывного обтекания на повороте $1,75D_{тр}$ или $3,5a$;

– с целью обеспечения зарядки сифона при назначении размеров горлового сечения следует стремиться к соотношению:

$$Q_{\text{мин}} \geq Q_{\text{зар}} = 3,13 \cdot A \cdot b \cdot \sqrt{\frac{a}{\alpha}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{мин}}$ – минимальный расход сифонного водовыпуска, $\text{м}^3/\text{с}$; $Q_{\text{зар}}$ – зарядный расход, обеспечивающий работу сифона полным сечением при максимальном подтоплении выходного сечения, $\text{м}^3/\text{с}$; A – коэффициент, зависящий от формы сифонного водовыпуска и заглубления его выходного сечения под уровень воды в колодце, $A = 0,6 \dots 0,7$; $a = 0,5D_{тр}$ – высота горлового сечения, м; b – ширина горлового сечения, м; $\alpha = 1,05$ – коэффициент Кориолиса.

– максимальная величина вакуума в сифонном водовыпуске, которая будет иметь место под напором сифона и ее можно определить по формуле:

$$\frac{P_{\text{вак. макс.}}}{\rho g} = Z - \frac{V_{\text{г.с.}}^2}{2g} \left[\frac{\alpha}{\ln^2 \frac{Z_2}{r_1}} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \right] - \sum h_{w1-z} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g}, \quad (2)$$

где Z – повышение напора сифона над минимальным УВБ, м; $V_{\text{г.с.}}$ – средняя скорость в горле сифона, м/с; a – высота горлового сечения, м; $\sum h_{w1-z}$ – сумма гидравлических потерь между горловыми и выходными сечениями, м; α_2 – коэффициент Кориолиса; V_2 – средняя скорость в выходном сечении м/с; ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

– максимальная величина вакуума не должна превышать $5,0 \dots 7,0$ м;

– в качестве запорных устройств, исключающих обратный ток воды, на сифонных оголовках рекомендуется применять клапаны срыва вакуума механического или гидравлического действия.

Результаты и обсуждение. В станциях с осевыми насосами и сифонными водовыпусками простота конструкции приводит к большой растянутости по времени переходных процессов и, следовательно, к значитель-

ной продолжительности переменных динамических воздействий на сооружения и оборудование.

Поэтому при проектировании крупных насосных станций необходимо комплексно учитывать работу напорного тракта и технологического оборудования, основываясь на расчетах переходных процессов [2–4].

Для определения волны изменения давления при присоединении водовода по принципу сифона принята следующая расчетная схема.

Распространение волны изменения давления в сифоне не учитывается, так как длина его обычно сравнительно невелика.

Уровень воды в бассейне $Z_{\text{бас}}$ в течение всего времени протекания гидравлического удара принимается постоянным, и до изменения направления движения воды в конечной точке водовода (до изменения знака скорости V_n), отражение волны происходит от этого уровня (рис. 2):

$$\varphi_n^{\text{тек.}} = -\varphi_{n-1}^{\text{пред.}}, \quad (3)$$

где n – номер конечной точки водовода, соответствующей числу участков разбивки водовода.



Рис. 2. Расчетная схема теоретических исследований переходных процессов

При изменении направления движения воды в конечной точке $|V_n < 0|$ происходит срыв вакуума в сифоне.

В момент срыва вакуума отражение волн изменения давления будет происходить от уровня $Z_0^{\text{сиф}}$, определяемого положением напора сифона. В дальнейшем уровень воды в сифоне $Z_{\text{сиф}}$ будет снижаться. Изменение уровня в сифоне $\Delta Z_{\text{сиф}}$ за расчетный интервал времени Δt определяется по формуле:

$$Z_{\text{сиф}} = \frac{V_n^{\text{ср}} \omega \Delta t}{\omega_{\text{сиф}}}, \quad (4)$$

где $V_n^{\text{ср}}$ – среднее значение скорости в конце водовода за интервал времени Δt , м/с; ω – площадь сечения водовода, м^2 ; $\omega_{\text{сиф}}$ – площадь горизонтальной проекции сечения сифона, принимаемая одинаковой по всей высоте сифона, м^2 .

Значение отраженной волны изменения давления будет выражаться по следующей формуле:

$$\Psi_n^{\text{тек}} = (Z_{\text{сиф}}^{\text{тек}} - Z_{\text{сиф}}^0) - \varphi_{n-1}^0, \quad (5)$$

Определение значения $\Psi_n^{\text{тек}}$ по формуле (5) справедливо для не полностью опорожненного сифона.

Расчет с момента опорожнения сифона производится следующим образом. Вычисляется расстояние, на которое отходит колонна воды за расчетный интервал времени Δt , по формуле $\Delta l = V_{\text{сп}} \Delta t$. После этого определяется длина части водовода, заполненной водой в рассматриваемый момент времени t , для чего значение Δl алгебраически суммируется со значением длины части водовода заполненной водой для предыдущего расчетного момента времени $(t - \Delta t)$.

Уровень, от которого будет происходить отражение волн в каждый расчетный момент времени, будет соответствовать отметке оси водовода на расстоянии $L + \sum \Delta l$ от начала водовода.

Определение волны изменения давления при опорожнении водовода будет вычисляться по следующей формуле (рис. 2):

$$\Psi_i^{\text{тек}} = Z_i - (Z_i - Z_{i-1}) \frac{\Delta L_b}{\Delta L} - H_{i0} - \varphi_{i-1}^{\text{пред}}, \quad (6)$$

где ΔL_b – длина участка разбивки, заполненная воздухом, м; H_{i0} – начальное значение напора в точке i , м; φ и ψ – волны изменения давления, распространяющиеся по направлению и соответственно против направления начального давления воды в трубопроводе в точках i и $(i - 1)$.

Изменение времени пробега ударных волн по длине водопровода учитывается следующим образом:

- расчет производится для моментов времени, отличающихся на интервалы Δt ;
- при опорожнении водовода часть участков разбивки, ближайших к насосной станции, будут заполнены водой; часть участков, ближайших к бассейну, – заполнена воздухом; граничный участок в общем случае частично заполнен водой, частично – воздухом (если граничный участок заполнен водой более чем наполовину, то принимается, что время распространения волн изменения давления по этому участку остается равным $\Delta t = \Delta L/a$, если участок заполнен менее чем наполовину, то принимается, что время распространения волн изменения по этому участку равно нулю);
- после опорожнения сифона отход колонны воды от бассейна будет продолжаться и начнется опорожнение самого водовода;
- количество участков разбив-

ки водовода, для которых производится вычисления, будет все время уменьшаться, и в случае, когда лишь один первый участок водой будет заполнен меньше, чем наполовину, распространение волн изменения давления происходить не будет, и расчет следует прекратить.

Блок-схема алгоритма расчета, разработанная авторами данной статьи, представлена на рисунке 3.



Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета переходных процессов

Выводы

Для расчета переходных процессов в напорных системах используется дифференциальные уравнения неустановившегося движения воды в трубопроводах, в которых не учитываются конвективные члены и пренебрежение которыми позволяет значительно упростить решение уравнений не приводя к ощутимым погрешностям в определении времени распространения волн по трубопроводам;

При относительно больших геодезических высотах подъема воды, значительной протяженности трубопроводов и отсутствие сброса воды через насосы при переходных процессах, отраженная волна равна подошедшей со знаком минус $\Psi_{i,j} = -\varphi_{i(i-1),j}$ (в момент времени j);

Такое допущение бывает вполне приемлемым, несмотря на то, что фактиче-

ски трубопроводы отключаются от водовыпускных устройств;

Созданная на основе теоретического обобщения существующих методов расчета, математическая модель дает возможность провести с необходимой степенью точности расчеты переходных процессов в напорных трубопроводах с крупными насосными станциями и сифонными водовыпусками, входящих в комплексы сооружений водного хозяйства и гидроэнергетики.

Библиографический список

1. Кондратьев В. Н. Проектирование сифонных водовыпусков для насосных станций / В. Н. Кондратьев, Е. В. Скосарев, И. Т. Чибисов, В. Н. Шаварин // Гидротехническое строительство. – 1976. – № 1. – С. 54–56.
2. Али М. С. Исследования переходных процессов в напорных коммуникациях насосных станций с осевыми насосами при пуске агрегатов / М. С. Али, Д. С. Бегляров // Природообустройство. – 2015. – № 3. – С. 74–78.
3. Аршеневский Н. Н. Переходные процессы крупных насосных станций / Н. Н. Аршеневский, Б. Б. Поспелов. – М.: Энергия, 1980. – 155 с.
4. Вишневский К. П. Переходные процес-

сы в напорных системах водоподачи. – М.: Агропромиздат, 1986. – 93 с.

Материал поступил в редакцию 31.03.2016.

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, ул. Тимирязевская, 49; тел.: 8-499-391-12-07; e-mail: munzer@yandex.ru.

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; тел.: 8-499-976-11-85.

Лентаева Екатерина Алексеевна, кандидат технических наук, ФГБНУ ВНИИГиМ имени А. Н. Костякова; 127550, Москва, Большая Академическая, 44 корпус 2; тел.: 8-499-976-23-49; e-mail: Elentaeva@yandex.ru.

Апресян Давид Шамилович, кандидат технических наук, ведущий инженер Акционерного общества «Мосинжпроект»; 111250, г. Москва, пр. Завода Серп и Молот д.108; тел.7-926-569-34-34; e-mail: fender-omega@mail.ru.

M. S. ALI, D. S. BEGLYAROV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Timiryazev State Agrarian University», Moscow

E. L. LENTYAEVA

The Federal state budget scientific institution

«The All-Russian research institute of hydraulic engineering and land reclamation named after A. N. Kostyakov», Moscow

D. Sh. APRESYAN

The Joint -stock company «Mosinzhproject», Moscow

FEATURES OF TRANSITIONAL PROCESSES IN PUMPING STATIONS WITH SIPHON OUTLETS

With development of construction of large pumping stations and increase of the volume of works fulfilled by pump aggregates in the systems of water supply (for example, operation in the regime of a consumer – regulator of the power system) requirements to the operational reliability of pumping stations and some of its elements increase. For large pumping stations under the pressure of more than 15 m buildings of a block type are typical with a combined variant of outlet. At the stations with axial-flow pumps and siphon water outlets the simplicity of design leads to a longer time duration of transitional processes and, therefore, to a significant duration of variable dynamic impacts on structures and equipment, thus when designing large pumping stations it is necessary to fully take into consideration the operation of pressure tract and technological equipment basing on calculations of transitional processes. In the article there is considered a mathematical model created on the basis of theoretical generation of existing calculation methods of transitional processes. This model allows carrying out calculations with the necessary degree of accuracy calculations of transitional processes in pressure pipelines with large pumping stations and siphon outlets being a part of structural complexes of the water economy and hydro power engineering.

Pump aggregate, pressure pipeline, axial-flow pump, transitional processes, shock wave velocity, hydraulic impact, siphon outlet, hydraulic losses.

References

1. **Kondratjev V. N.** Proektirovaniye sifonnyh vodovypuskov dlya nasosnyh stantsij / V. N. Kondratjiev, E. V. Skosarev, I. T. Chibisov, V. N. Shavarin // Hydrotehnicheskoye stroiteljstvo. – 1976. – № 1. – S. 54–56.
2. **Ali M. S.** Issledovaniya perehodnyh protsessov v napornyh kommunikatsiyah nasosnyh stantsij s osevyimi nasosami pri puske agregatov / M.S. Ali, D. S. Beglyarov // Prirodoobustrojstvo. – 2015. – № 3. – S. 74–78.
3. **Arshenevsky N. N.** Perehodnyye protsessy krupnyh nasosnyh stantsij / N. N. Arshenevsky, B. B. Pospelov. – M.: Energiya, 1980. – 155 s.
4. **Vishnevsky K. P.** Perehodnyye protsessy v napornyh sistemah vodopodachi. – M.: Agropromizdat, 1986. – 93 s.

Received on 31.03.2016.

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, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8-499-391-12-07; 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, ul. Timiryazeva, 49; tel.: 8-499-976-11-85.

Lentyaeva Ekaterina Alexeevna, candidate of technical sciences, FGBNU VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, 127550, Moscow, Boljshaya Academicheskaya, 44, corpus 2; tel.: 8-499-976-23-49; e-mail: Elentaeva@yandex.ru.

Apresyan David Shamilevich, candidate of technical sciences, leading engineer of The Joint-stock company «Mosinzhproject»; 111250, Moscow, pr. Zavoda Serp i Molot, d.108; tel. 7-926-569-34-34; e-mail: fender-omega@mail.ru.

УДК 502/504:556.535.5

Л. С. БАНЩИКОВА

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный Гидрологический институт», г. Санкт-Петербург

А. А. БАНЩИКОВ, М. В. СОБОЛЕВ, С. В. ХВАЛЕВ

Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное объединение «Гидротехпроект», г. Санкт-Петербург

ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕК ПЕСТОВСКОГО РАЙОНА НОВГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ*

В работе дана характеристика ледового режима для рек бассейна Молога в пределах Пестовского района Новгородской области за многолетний период. Выполнена оценка изменчивости различных фаз ледового режима: осеннего ледохода, ледостава, весеннего ледохода, повторяемости и мощности заторов и зажоров, толщины льда за период 1931–2013 годов. Выявлено, что изменение зимних температур воздуха привело к значительному изменению параметров ледового режима. Отмечается, что общая продолжительность периода с ледовыми явлениями сократилась в среднем на 15 дней. При этом сроки наступления первых ледовых явлений и осеннего ледохода практически не изменились. Ледоход, длится от 4 до 10 дней. В то же время уменьшился период ледостава в среднем по району на 15 дней. При этом сформировавшийся ледовый покров не всегда устойчив: наблюдаются полыньи и закраины в течение всего зимнего периода. Весенний ледоход на участке реки Молога так же наступает раньше на 1–2 недели, а на притоках и вовсе отсутствует. Так величина максимальных зажорных уровней воды в среднем понизилась на 20 %, заторного – 30 %, что привело к изменению повторяемости опасных гидрологических явлений и уменьшению их мощности.

Верхнее-Волжский речной бассейн, ледовый режим рек, заторы, зажоры, изменение климата.

* Работа выполнена в рамках Проекта РФФИ № 15-45-06003, «Конкурс РФФИ - Новгородская область – (№15-41-07000) – р_2».