

МЕЛИОРАЦИЯ, РЕКУЛЬТИВАЦИЯ И ОХРАНА ЗЕМЕЛЬ

Научная статья

УДК 628.147.2

doi: 10.31774/2222-1816-2021-11-1-162-173

Методика расчета полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основных агрегатов на мелиоративных насосных станциях

**Вадим Николаевич Ширяев, Юлия Сергеевна Уржумова,
Сергей Андреевич Тарасьянц**

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация, rekngma@magnet.ru

Аннотация. Цель: теоретическое обоснование метода расчета полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основных агрегатов на мелиоративных насосных станциях для предотвращения нестационарных процессов и гидравлического удара. **Материалы и методы:** исследования и расчеты проводились на насосной станции «Междуречье», «Управление «Ставропольмелиоводхоз», оборудованной тремя основными центробежными насосными агрегатами и двумя напорными трубопроводами. Для расчета полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основного насоса вся трубопроводная сеть разбита на три участка: первый – всасывающий, второй – распределительный и третий – напорный магистральный. Для каждого участка от 0,25 до 3,41 $\text{с}^2/\text{м}^5$ и всей сети 4,65 $\text{с}^2/\text{м}^5$ определены удельные сопротивления, фактические суммарные потери напора от 2,50 до 29,32 м при подачах трех агрегатов в два напорных трубопровода от 0,3 до 7,2 $\text{м}^3/\text{с}$ и гидравлические параметры каждого агрегата: напор (90,2 м), подача (2,67 $\text{м}^3/\text{с}$), мощность (1585 кВт), допустимая вакуумметрическая высота всасывания (4,2 м) при КПД (88 %), при различных эксплуатационных вариантах насосной станции. **Результаты:** в результате исследований установлен порядок определения полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основных агрегатов на мелиоративных насосных станциях, проведен расчет полной энергии в зависимости от количества включенных насосных агрегатов: для всасывающих трубопроводов от плюс 0,1 до минус 1,5 м, для напорных трубопроводов от 75,79 до 86,34 м, позволяющий вычислить необходимые гидравлические параметры бустерного насоса, используемого для возможности закрытия обратного клапана в напорных трубопроводах основного насоса, предотвращения обратного потока воды и гидравлического удара перед остановкой основного насоса. **Выводы:** приведенная методика рекомендуется для расчета в случае необходимости предотвращения гидравлического удара в сети методом закрытия обратного клапана бустерным насосом для мелиоративных станций, оборудованных центробежными насосами с максимально возможным напором 120–130 м, при сложном эксплуатационном варианте – работе максимального количества насосов на один трубопровод.

Ключевые слова: полная энергия, напорный трубопровод, всасывающий трубопровод, насосный агрегат, бустерный насос, гидравлический удар

LAND RECLAMATION, RECULTIVATION AND LAND PROTECTION

Original article

Method of calculating the total energy in suction and pressure pipelines of the main units at reclamation pumping stations



Vadim N. Shiryaev, Yulia S. Urzhumova, Sergey A. Tarasyants

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation, rekngma@magnet.ru

Abstract. Purpose: theoretical substantiation of the method for calculating the total energy in suction and pressure pipelines of the main units at reclamation pumping stations to prevent unsteady processes and water hammer. **Materials and methods:** research and calculations were carried out at the pumping station “Mezhdurechye”, “Management of Stavropolmeliovodkhoz”, equipped with three main centrifugal pump units and two pressure pipelines. To calculate the total energy in the suction and pressure pipelines of the main pump, the entire pipeline network is divided into three sections: the first one is the intake, the second one is the distribution and the third one is the main pressure pipeline. For each section from 0.25 to 3.41 $\text{с}^2/\text{м}^5$ and the entire network 4.65 $\text{с}^2/\text{м}^5$, specific resistances were determined, the actual total head losses from 2.50 to 29.32 m when three units were fed into two pressure pipelines from 0.3 to 7.2 $\text{м}^3/\text{с}$ and hydraulic parameters of each unit: head (90.2 m), flow (2.67 $\text{м}^3/\text{с}$), power (1585 kW), admissible vacuum suction head (4.2 m) at efficiency (88 %), with various operating options of the pumping station. **Results:** as a result of the research, the procedure for determining the total energy in the suction and pressure pipelines of the main units at reclamation pumping stations was determined, the total energy was calculated depending on the number of running pumping units: for suction pipelines from plus 0.1 to minus 1.5 m, for pressure pipelines from 75.79 to 86.34 m, which allows calculating the required hydraulic parameters of the booster pump used to close the back flow valve in the pressure pipelines of the main pump, to prevent backflow of water and water hammer before stopping the main pump. **Conclusions:** the above method is recommended for calculating in case of necessity the prevention of water hammer in the network by closing the back flow valve with a booster pump for reclamation stations equipped with centrifugal pumps with a maximum possible head of 120–130 m, in a complex operational option – the maximum number of pumps per one pipeline.

Keywords: total energy, pressure pipeline, suction pipeline, pump unit, booster pump, water hammer

Введение. При эксплуатации насосных станций задача защиты напорных трубопроводов от резких колебаний энергии при переходных процессах является одним из важных факторов безаварийной эксплуатации оросительных систем [1–4]. Возникновению гидравлических ударов при движении перекачиваемой воды в обратном направлении, как правило, способствует выход из строя трубопроводной арматуры, приводящий к выходу из строя напорных трубопроводов и крупным аварийным ситуациям [5–7].

Цель исследований – теоретическое обоснование метода расчета полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основных агрегатов на мелиоративных насосных станциях для предотвращения нестационарных процессов и гидравлического удара [8].

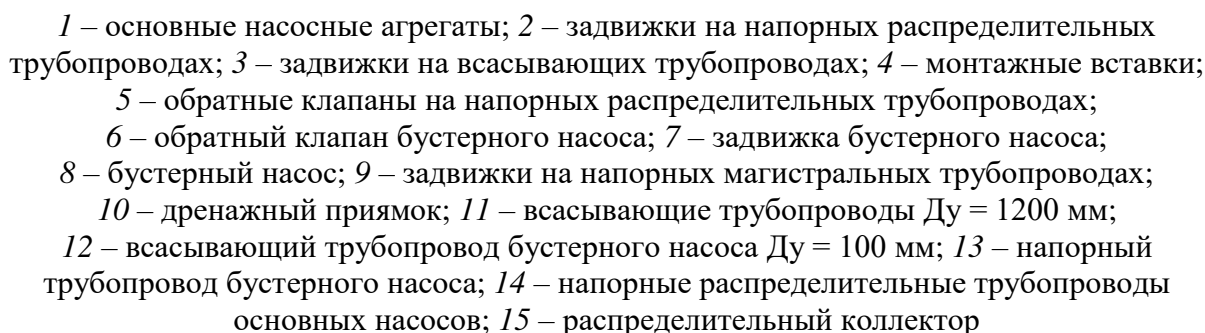
Материалы и методы. В качестве примера использования расчета принимается насосная станция «Междуречье» Изобильненского филиала ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз» с тремя основными насосными агрегатами Д6300-80 и двумя напорными трубопроводами диаметром 1200 мм (рисунки 1, 2).



Рисунок 1 – Общий внешний вид насосной станции «Междуречье» (фото В. Н. Ширяева)

Для расчета полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основного насоса определяются фактические параметры трех насосных агрегатов при работе на два напорных трубопровода диаметром 1200 мм и три всасывающих диаметром 1200 мм в следующей последовательности.

- 1 Определяются удельные сопротивления 1, 2 и 3-го участков.
- 2 Определяется удельное сопротивление всей сети.
- 3 Рассчитываются фактические потери, и на характеристике насоса строятся кривые потерь напора в сети для различных подач.
- 4 По точкам пересечения напорно-расходной характеристики насоса и кривой потерь в трубопроводе определяются фактические гидравлические параметры насосного оборудования и величина допустимой вакуумметрической высоты всасывания при различных эксплуатационных вариантах.
- 5 Определяется полная энергия во всасывающем и напорном трубопроводе.



Результаты и обсуждение.

$$S_i = \lambda \frac{L}{D\omega^2 2g},$$

L – длины участков, м (таблица 1);

ω – расчетный, внутренний диаметр, м (таблица 1);

g – ускорение свободного падения, м/с².

Таблица 1 – Расчет удельного сопротивления трех участков сети (всасывающего, напорного распределительного и напорного магистрального трубопровода для основных насосных агрегатов)

Участок	Длина, м	Расчетный, внутренний диаметр (по допустимой скорости), м	Площадь поперечного сечения трубопровода, м ²	Удельное сопротивление, с ² /м ⁵
Первый	13,5	1,12	0,98	0,25
Второй	43,0	0,52	0,21	0,99
Третий	3608	1,12	0,98	3,41

2 Удельные сопротивления сети вычислены по зависимости:

$$S_c = \sum S_i = 0,25 + 0,99 + 3,41 = 4,65 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

3 Фактические потери напора в сети для различных подач рассчитаны по зависимости [10] (таблица 2, рисунок 3):

$$h_{w.c} = \sum S_i Q^2,$$

где Q – подача, м³/с.

Таблица 2 – Фактические потери напора в трубопроводной сети (от всасывающего до напорного магистрального при работе основных агрегатов)

Параметр	Участок 1				Участок 2				Участок 3			
1	2				3				4			
Один насос на один трубопровод												
Подача, м³/с	0,5	1,1	1,5	1,7	0,5	1,1	1,5	1,7	0,5	1,1	1,5	1,7
Удельное сопротивление, с²/м⁵	0,25				0,99				3,41			
Потери напора на участках, м	0,06	0,3	0,56	0,7	0,2	1,2	2,2	2,86	1,7	4,20	7,67	9,82
Суммарные потери на трех участках, м	2,00	7,7	10,4	13,4	—				—			
Два насоса на один трубопровод												
Подача, м³/с	0,50	1,1	1,50	1,7	1,0	2,2	3,0	3,4	1,0	2,22	3,0	3,4
Удельное сопротивление, с²/м⁵	0,25	0,2	0,25	0,2	0,9	0,9	0,9	0,9	3,4	3,4	3,4	3,4
Потери напора на участках, м	0,06	0,3	0,56	0,7	0,9	4,8	8,9	11,4	3,4	16,8	60,6	39,41
Суммарные потери на трех участках, м	—				4,4	4,8	8,9	11,4	—			
Три насоса на один трубопровод												
Подача, м³/с	0,50	1,1	1,50	1,7	1,5	2,2	3,0	5,10	1,5	2,22	3,00	5,10

Продолжение таблицы 2

1	2				3				4			
Удельное сопротивление, $\text{с}^2/\text{м}^5$	0,25	0,2	0,25	0,2	0,9	0,9	0,9	0,9	3,4	3,4	3,4	3,4
Потери напора на участках, м	0,06	0,3	0,56	0,7	2,2	4,8	8,9	25,7	7,6	16,8	30,6	88,69
Суммарные потери на трех участках, м	—				—				9,9	21,9	40,1	115,1
Три насоса на два трубопровода												
Подача, $\text{м}^3/\text{с}$	0,50	1,1	1,50	1,7	0,7	1,6	2,2	2,55	0,7	1,66	2,25	2,55
Удельное сопротивление, $\text{с}^2/\text{м}^5$	0,25	0,2	0,25	0,2	0,9	0,9	0,9	0,9	3,4	3,4	3,4	3,4
Потери напора на участках, м	0,06	0,3	0,56	0,7	0,5	2,7	5,0	6,43	1,9	9,39	17,2	22,17
Суммарные потери на трех участках, м	—				—				2,5	14,9	22,8	29,32

Геометрическая высота всасывания основного насоса вычислена по зависимости [10]:

$$H_{\text{г.о.}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - \sum h_{w_{\text{вс.тр.}}} - \frac{V_{\text{вс.тр.}}^2}{2g},$$

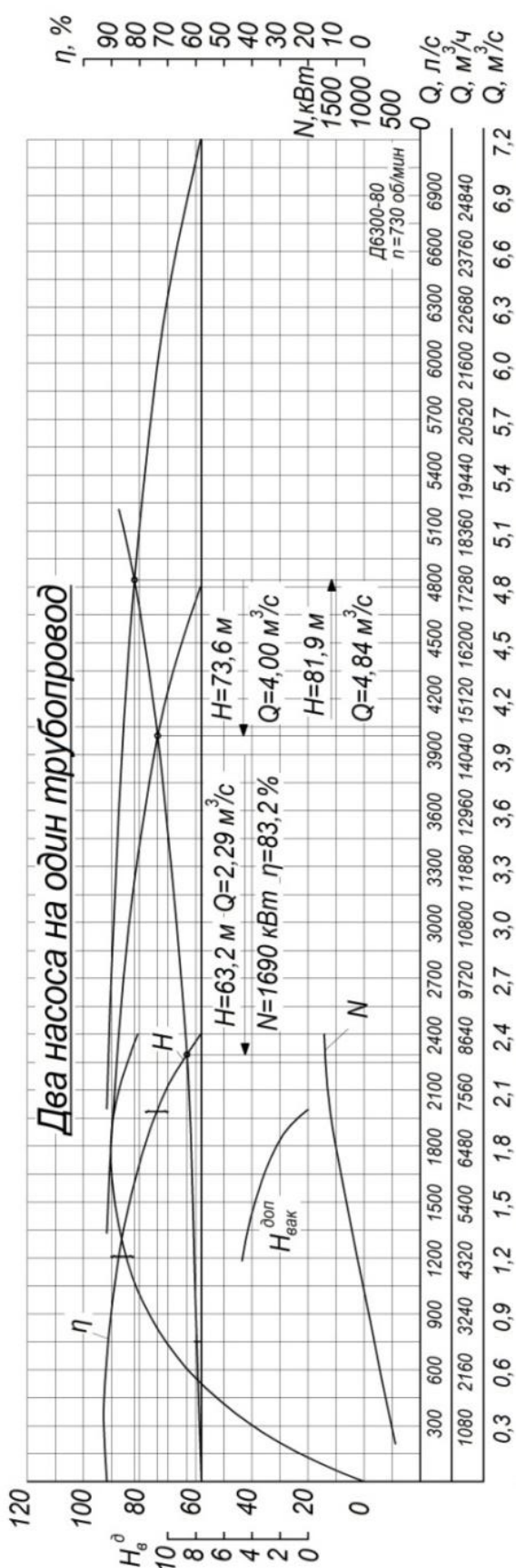
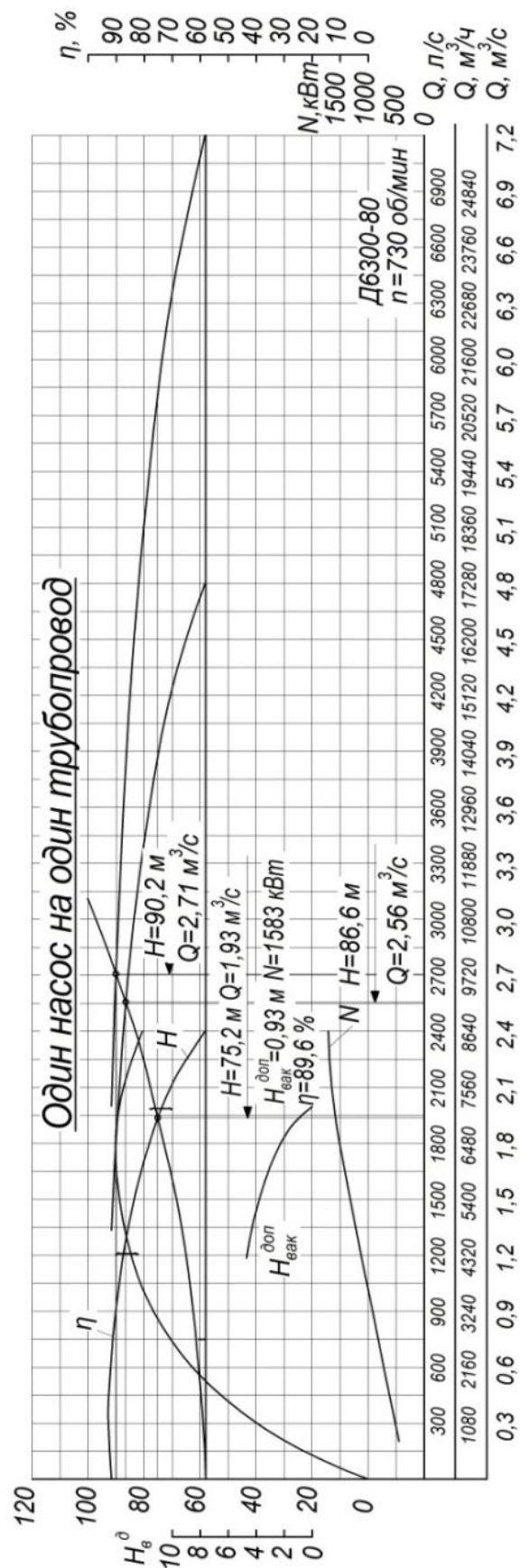
где $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$ – допустимая вакуумметрическая высота всасывания, м;

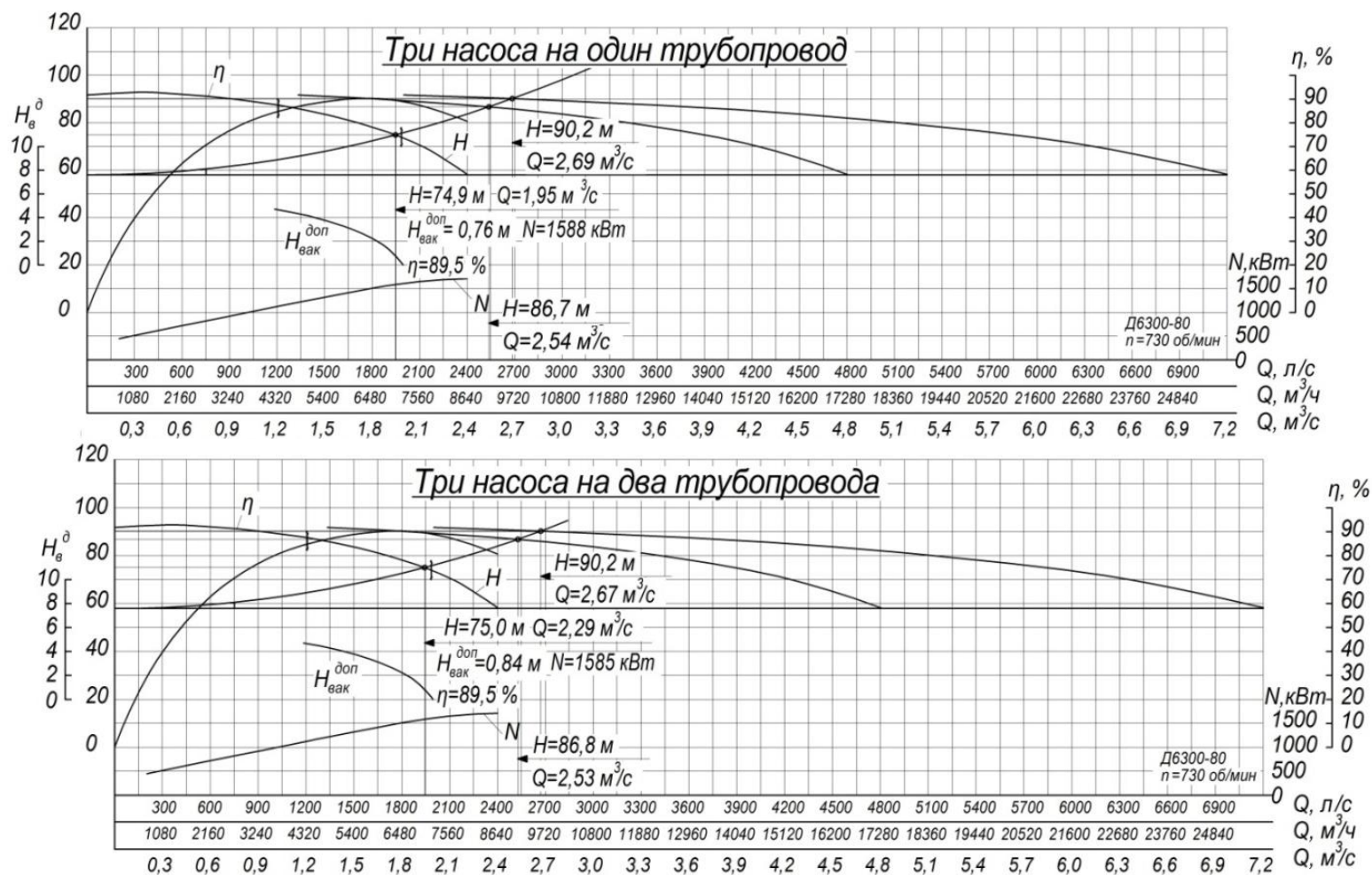
$h_{w_{\text{вс.тр.}}}$ – потери напора во всасывающем трубопроводе, м;

$V_{\text{вс.тр.}}^2$ – скорость во всасывающем трубопроводе, м/с.

Полная энергия во всасывающем $\mathcal{E}_{\text{вс}}$ и напорном $\mathcal{E}_{\text{н}}$ трубопроводах показана в таблице 3.

Приведенная методика расчета полной энергии во всасывающем и напорном трубопроводах основных насосов позволит определить необходимую полную энергию на 10–15 % выше рассчитанной и гидравлические параметры бустерного насоса, установленного по схеме (см. рисунок 2, позицию 8), для возможности закрытия обратного клапана, предотвращения обратного потока воды и гидравлического удара в напорном трубопроводе перед остановкой основного насоса [11, 12].





H – напор; Q – расход; N – потребляемая мощность, n – частота вращения рабочего колеса насоса, η – коэффициент полезного действия

Рисунок 3 – Фактические рабочие параметры и величина допустимой вакуумметрической высоты всасывания насоса Д6300-80 при различных эксплуатационных вариантах

Таблица 3 – Фактические гидравлические параметры насосного оборудования при различных эксплуатационных вариантах насосной станции

№ участка	Подача (по рисунку 3), м ³ /с	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$, м	Скорость в трубопроводе, м/с, при $d_1 = 1,12$, $d_2 = 0,52$, $d_3 = 1,12$	Скоростной напор на участках $V_1^2 / 2g$, $V_2^2 / 2g$, $V_3^2 / 2g$, м	Потери напора (на участках) h_{w_i} , м (таблица 2)	Полная энергия во всасывающем трубопроводе $\mathcal{E}_{\text{вс}}$, м	Полная энергия в напорном трубопроводе $\mathcal{E}_n$, м
Один насос на один трубопровод							
1	1,93	0,90	1,20	0,073	0,80	0,10	0,173
2	1,93	0,90	2,20	0,24	3,00	0,10	0,340
3	1,93	0,40	1,95	0,19	10,20	0,10	75,79
Два насоса на один трубопровод							
1	2,29	1,00	1,20	0,073	0,80	0,00	0,87
2	2,29	1,00	2,50	2,80	4,40	0,00	3,10
3	4,00	0,50	4,06	0,84	15,20	0,00	86,34
Три насоса на один трубопровод (без учета высоты подъема)							
1	2,29	0,88	1,80	2,40	1,60	–1,00	0,60
2	2,29	0,88	2,20	2,80	4,00	–1,50	10,40
3	5,80	0,95	2,60	3,50	17,30	–1,50	15,80
Три насоса в два трубопровода (без учета высоты подъема)							
1	2,29	1,24	2,20	0,70	2,20	–1,50	10,80
2	2,99	1,50	2,60	0,90	2,20	–1,50	12,40
3	2,67	1,66	2,43	0,66	15,40	–1,50	16,20

Выводы. При определении энергии во всасывающем и напорном трубопроводах необходимо принимать во внимание сложный эксплуатационный вариант при работе максимального количества насосов на один трубопровод.

При расчете полной энергии во всасывающем трубопроводе следует иметь в виду возможность наличия как положительной ее величины при установке насоса с отрицательной высотой всасывания, так и отрицательной при положительной высоте всасывания.

Приведенная методика рекомендуется для расчета в случае необходимости предотвращения гидравлического удара в сети методом закрытия обратного клапана бустерным насосом для всех мелиоративных станций, оборудованных центробежными насосами с максимально возможным напором 120–130 м.

Список источников

1. Али М. С., Бегляров Д. С., Назаркин Э. Е. Особенности расчета переходных процессов в водоводах насосных станций в условиях образования разрывов сплошности потока // *Природообустройство*. 2020. № 4. С. 122–128.
2. Газаров А. Р., Колосов Р. А., Ховрина Е. И. Гидравлический удар в трубопроводах: расчет и предотвращение // *Известия Тульского государственного университета*. 2019. № 12. С. 557–559.
3. Лопа И. В., Проскуряков Н. Е. Расчет прочности трубопровода при гидравлическом ударе // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2017. № 9. С. 17–20.
4. Abdel-Gawad H. A., Djebedjian B. Modeling water hammer in viscoelastic pipes using the wave characteristic method // *Applied Mathematical Modelling*. 2020. Vol. 83. P. 322–341. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.01.045>.
5. Бегляров Д. С., Апресян Д. Ш. Методика расчета переходных процессов в напорных системах водоподачи при пусках насосных агрегатов // *Природообустройство*. 2012. № 2. С. 69–72.
6. Бегляров Д. С., Переверзев С. Ю. Расчетно-теоретические исследования переходных процессов в закрытой оросительной системе // *Природообустройство*. 2012. № 4. С. 52–57.
7. Бегляров Д. С., Сахаров И. Ю. Методика расчета переходных процессов с учетом клапанов для пуска и заземления воздуха и длины зоны разрыва сплошности потока // *Природообустройство*. 2013. № 2. С. 76–79.
8. Ширяев В. Н., Уржумова Ю. С., Тарасьянц С. А. Способ борьбы с гидроударом в напорных трубопроводах центробежных насосов: пат. 2689652 Рос. Федерация, МПК F 04 D 13/12; заявитель и патентообладатель Новочеркас. инж.-мелиоратив. ин-т Дон. гос. аграр. ун-та. № 2018111305; заявл. 15.12.17; опубл. 28.05.19, Бюл. № 16. – 5 с.
9. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 224 с.
10. Аникин Ю. В., Царев Н. С., Ушакова Л. И. Насосы и насосные станции: учеб. пособие / М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, Ин-т стр-ва и архитектуры. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. 135 с.
11. Ширяев В. Н., Уржумова Ю. С., Тарасьянц С. А., Ширяева Н. О. Использование бустерного насоса в качестве дополнительного насосного агрегата при гашении гидравлического удара в напорных трубопроводах // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*. 2020. № 4(48). С. 134–147.
12. Karadžić U., Bergant A., Starinac D., Božović B. Water hammer investigation of the shut-down of a high-head hydropower plant at very high Reynolds number flows // *Journal of Mechanical Engineering*. 2019. Vol. 65, iss. 7/8. P. 430–440. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2019.6092>.

References

1. Ali M.S., Beglyarov D.S., Nazarkin E.E., 2020. *Osobennosti rascheta perekhodnykh protsessov v vodovodakh nasosnykh stantsiy v usloviyakh obrazovaniya razryvov sploshnosti potoka* [Features of calculation of transients in water pipelines of pumping stations under conditions of flow continuity discontinuity formation]. *Prirodoobustroystvo* [Environment Engineering], no. 4, pp. 122-128. (In Russian).
2. Gazarov A.R., Kolosov R.A., Khovrina E.I., 2019. *Gidravlicheskiy udar v truboprovodakh: raschet i predotvrashchenie* [Water hammer in pipelines: calculation and prevention]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tula State University], no. 12, pp. 557-559. (In Russian).

3. Lopa I.V., Proskuryakov N.E., 2017. *Raschet prochnosti truboprovoda pri gidravlicheskom udare* [Calculation of the pipeline strength at water hammer]. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Volgograd State Technical University], no. 9, pp. 17-20. (In Russian).

4. Abdel-Gawad H.A., Djebedjian B., 2020. Modeling water hammer in viscoelastic pipes using the wave characteristic method. *Applied Mathematical Modelling*, vol. 83, pp. 322-341, <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.01.045>.

5. Beglyarov D.S., Apresyan D.Sh., 2012. *Metodika rascheta perekhodnykh protsessov v napornykh sistemakh vodopodachi pri puskakh nasosnykh agregatov* [Calculation method of transients in pressure water supply systems under pumping starting]. *Prirodoobustroystvo* [Environment Engineering], no. 2, pp. 69-72. (In Russian).

6. Beglyarov D.S., Pereverzev S.Yu., 2012. *Raschetno-teoreticheskiye issledovaniya perekhodnykh protsessov v zakrytoy orositel'noy sisteme* [Computational and theoretical studies of transients in the closed irrigation system]. *Prirodoobustroystvo* [Environment Engineering], no. 4, pp. 52-57. (In Russian).

7. Beglyarov D.S., Sakharov I.Yu., 2013. *Metodika rascheta perekhodnykh protsessov s uchetom klapanov dlya pushki i zashchemleniya vozdukhа i dliny zony razryva sploshnosti potoka* [The method of transients calculation taking into account air inlet and jamming valves and the zone length of the flow continuity ruptures]. *Prirodoobustroystvo* [Environment Engineering], no. 2, pp. 76-79. (In Russian).

8. Shiryayev V.N., Urzhumova Yu.S., Tarasyants S.A., 2017. *Sposob bor'by s gidroudaram v napornykh truboprovodakh tsentrobezhnykh nasosov* [Method of Controlling Hydraulic Shock in Pressure Pipelines of Centrifugal Pumps]. Patent RF, no. 2689652. (In Russian).

9. Altshul' A.D., 1982. *Gidravlicheskie soprotivleniya* [Hydraulic Resistance]. 2nd ed., rev. and add. Moscow, Nedra Publ., 224 p. (In Russian).

10. Anikin Yu.V., Tsarev N.S., Ushakova L.I., 2018. *Nasosy i nasosnye stantsii: uchebnoe posobie* [Pumps and Pumping Stations: textbook]. Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Ural Federal University, Institute of Construction and Architecture, Ekaterinburg, Ural University Publ., 135 p. (In Russian).

11. Shiryayev V.N., Urzhumova Yu.S., Tarasyants S.A., Shiryayeva N.O., 2020. *Ispol'zovanie busternogo nasosa v kachestve dopolnitel'nogo nasosnogo agregata pri gashenii gidravlicheskogo udara v napornykh truboprovodakh* [The use of a booster pump as an additional pumping unit when damping water hammer in pressure pipelines]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* [Bulletin of Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev], no. 4(48), pp. 134-147. (In Russian).

12. Karadžić U., Bergant A., Starinac D., Božović B., 2019. Water hammer investigation of the shut-down of a high-head hydropower plant at very high Reynolds number flows. *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 65, iss. 7/8, pp. 430-440, <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2019.6092>.

Ширяев Вадим Николаевич

Должность: главный инженер научно-исследовательского института «ЭнергоГидроМех»
Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»
Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428
E-mail: rekngma@magnet.ru

Shiryayev Vadim Nikolaevich

Position: Chief Engineer of the Research Institute “EnergoHydroMech”

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: rekngma@magnet.ru

Уржумова Юлия Сергеевна

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент кафедры мелиорации земель

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: rekngma@magnet.ru

Urzhumova Yulia Sergeevna

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor of the Department of Land Reclamation

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: rekngma@magnet.ru

Тарасьянц Сергей Андреевич

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор кафедры водоснабжения и водоотведения

Место работы: Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет»

Адрес организации: ул. Пушкинская, 111, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346428

E-mail: rekngma@magnet.ru

Tarasyants Sergey Andreevich

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Professor of the Department of Water Supply and Utilization of Water Resources

Affiliation: Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University

Affiliation address: st. Pushkinskaya, 111, Novocherkassk, Rostov region, Russian Federation, 346428

E-mail: rekngma@magnet.ru

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 19.01.2021; одобрена после рецензирования 08.02.2021; принята к публикации 10.02.2021.

The article was submitted 19.01.2021; approved after reviewing 08.02.2021; accepted for publication 10.02.2021.