ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-40

CALCULATION OF ENERGY INCREASE AND CAVITATION STOCK OF PUMPING EQUIPMENT AT THE SUCTION PIPE

V.N. Shiryaev, Y.S. Urzhumova, S.A. Tarasyants

*Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov
Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Don State Agrarian University»*

Received 15.01.2021

Submitted 10.03.2021

Summary

The article presents the results of calculation of energy increase and cavitation reserve of pumping equipment on the suction pipeline on the example of the pumping station «Mesopotamia» of Izo-bilnensky branch «Management-Stavropolmeliovodkhoz». The values of kinetic energy and cavitation reserve have been determined.

Abstract

Introduction. The introduction of additional energy into the pressure pipelines to pre-close the check valves before stopping the main pumps largely depends on the geometric suction head (cavitation reserve) and the head loss in the suction pipe. **Object.** The object of research is the process of interaction of the increased, with the help of the recirculation line, energy in the suction pipeline with the cavitation reserve of pumping equipment. **Materials and methods.** Determined by the cavitation margin or the value of the permissible vacuum gauge suction height, both of the above values are factors that reflect the ability of a particular type of equipment. When some of them change, during operation, the level of the water source horizon drops, in case of silting of the structures leading to the front chamber or changes in the general hydrological characteristics of the water source, clogging of water intake structures, silting of the suction pipelines, which contributes to an increase in the flow rate and, accordingly, head losses, the pressure-flow characteristic of the pumping equipment changes sharply, the supply, pressure, efficiency decrease, up to a complete stop of the pumping station. In the considered case, for the possibility of operating pumping equipment in a cavitation-free mode (cavitation reserve) of pumping units D6300-80 with diameters of suction pipelines of 1200 mm, a method for calculating pressure losses was developed. **Results and Conclusions.** The analysis of the calculations showed the need to develop options for increasing the suction height by installing a recirculation line and devices that increase the potential energy in the suction pipelines and found that the value of the velocity head in the suction pipeline with the installation of a jet device practically does not increase the amount of kinetic energy and does not provide total energy significant impact. In the course of research, it was found that in the presence of a recirculation line that increases the cavitation reserve, the value of kinetic energy in the suction pipeline practically does not change, with an obvious increase in potential energy up to the pressure of the jet device 9.29 m, therefore, the installation of jet devices on the suction line and line recirculation, increasing the suction lift of the pumping equipment does not affect the total energy in the pressure pipeline and there is no need to take it into account in the calculations.

Key words: *pressure pipelines, suction pipelines, cavitation reserve, admissible vacuum suction head, jet apparatus, kinetic energy, potential energy.*

Citation. Shiryaev V.N., Urzhumova Y.S., Tarasyants S.A. Calculation of energy increase and cavitation stock of pumping equipment at the suction pipe. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2021. 1(61). 420-431 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-40.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in execution and analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 628.147.2

РАСЧЕТ УВЕЛИЧЕНИЯ ЭНЕРГИИ И КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ВСАСЫВАЮЩЕМ ТРУБОПРОВОДЕ

В. Н. Ширяев, *главный инженер НИИ «ЭнергоГидроМех»*

Ю. С. Уржумова, *кандидат технических наук, доцент*

С. А. Тарасьянц, *доктор технических наук, профессор*

*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского ГАУ*

Дата поступления в редакцию 15.01.2021

Дата принятия к печати 10.03.2021

Актуальность. Ввод дополнительной энергии в напорные трубопроводы для предварительного закрытия обратных клапанов перед остановкой основных насосов во многом зависит от геометрической высоты всасывания (кавитационного запаса) и потерь напора во всасывающем трубопроводе. **Объект.** Объектом исследований является процесс взаимодействия увеличенной с помощью линии рециркуляции энергии во всасывающем трубопроводе с кавитационным запасом насосного оборудования. **Материалы и методы.** Определяемые по кавитационному запасу или значению допустимой вакуумметрической высоты всасывания обе вышеуказанные величины являются факторами, отражающими способность того или иного типа оборудования. При изменении какого-то из них в процессе эксплуатации, падении отметки горизонта водоисточника, в случае заиливания подводящих к аванкамере сооружений или изменения общих гидрологических характеристик водоисточника, засорения водозаборных сооружений, заиливания всасывающих трубопроводов, способствующего увеличению скорости потока и, соответственно, потерь напора, напорно-расходная характеристика насосного оборудования резко меняется: уменьшается подача, напор, КПД, вплоть до полной остановки насосной станции. В рассмотренном случае для возможности эксплуатации насосного оборудования в бескавитационном режиме (кавитационного запаса) насосных агрегатов Д6300-80 при диаметрах всасывающих трубопроводов 1200 мм разработана методика расчета потерь напора. **Результаты и выводы.** Анализ проведенных расчетов показал необходимость разработки вариантов повышения высоты всасывания установкой линии рециркуляции и аппаратов, повышающих потенциальную энергию во всасывающих трубопроводах: установлено, что значение скоростного напора во всасывающем трубопроводе с установкой струйного аппарата практически не увеличивает величину кинетической энергии и не оказывает существенного влияния на полную энергию. В ходе исследований было установлено, что при наличии линии рециркуляции, повышающей кавитационный запас, значение кинетической энергии во всасывающем трубопроводе практически не изменяется, при явном увеличении потенциальной энергии до значения напора струйного аппарата 9,29 м, поэтому установка струйных аппаратов на всасывающей линии и линии рециркуляции, повышающих высоту всасывания насосного оборудования не оказывает влияния на полную энергию в напорном трубопроводе, и при расчетах нет необходимости в ее учете.

Ключевые слова: *напорные трубопроводы, всасывающие трубопроводы, кавитационный запас насосного оборудования, допустимая вакуумметрическая высота всасывания.*

Цитирование. Ширяев В. Н., Уржумова Ю. С., Тарасьянц С. А. Расчет увеличения энергии и кавитационного запаса насосного оборудования на всасывающем трубопроводе. *Известия НВ АУК.* 2021. 1(61). 420-431. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-01-40.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Эффективность принятия решений по вводу дополнительной энергии в напорные трубопроводы для предварительного закрытия обратных клапанов перед остановкой основных насосов во многом зависит от геометрической высоты всасывания (кавитационного запаса) и потерь напора во всасывающем трубопроводе, так как при расчете полной энергии и определении фактических параметров гидромеханического оборудования всасывающие трубопроводы играют немаловажную роль, по результатам расчета которых вычисляются отметки оси насоса.

Цель исследований – установить расчетным способом влияние ввода дополнительной энергии, с помощью линии рециркуляции во всасывающий трубопровод на величину кавитационного запаса насосного оборудования.

Материалы и методы. Определяемые по кавитационному запасу или значению допустимой вакуумметрической высоты всасывания обе вышеуказанные величины являются факторами, отражающими способность того или иного типа оборудования, по которым в дальнейшем проводятся все расчеты [2, 5]. При изменении какой-то из 2-х вышеуказанных величин в процессе эксплуатации, падении отметки горизонта водоисточника, в случае заиливания подводящих к аванкамере сооружений или изменения общих гидрологических характеристик водоисточника, засорения водозаборных сооружений, заиливания всасывающих трубопроводов, способствующего увеличению скорости потока и, соответственно, потерь напора, напорно-расходная характеристика насосного оборудования резко меняется: уменьшается подача, напор, КПД, вплоть до полной остановки насосной станции. При установке нескольких агрегатов на насосной станции расчет отметки оси насоса несколько изменяется [1, 12]. В рассмотренном случае (насосная станция «Междуречье» Изобильненского филиала «Управление «Ставропольмелиоводхоз») для возможности эксплуатации насосного оборудования в бескавитационном режиме (кавитационного запаса) насосных агрегатов Д6300-80, характеристика которых показана на рисунке 1, для диаметров всасывающих трубопроводов 1200 мм проведен расчет потерь напора в следующей последовательности:

1. По рассчитанной и приведенной в таблице 1 характеристики принимаются для всасывающей линии расчетные потери напора 0,56 м независимо от количества включенных агрегатов, так как в насосных станциях, оборудованных центробежными насосами, как правило, каждый агрегат имеет свой всасывающий трубопровод.

2. По таблице 2 принимаются значения геометрической высоты всасывания – 1,5 м, при эксплуатации в наиболее сложных условиях (три насоса на один трубопровод).

3. На основании схемы установки оборудования на исследованной насосной станции (рисунок 2) определяется фактическая геометрическая высота всасывания 1,1 м (ниже возможной высоты всасывания насосов при расчетных подачах до 2 м³/с данного типа на величину 0,3 м).

В случае увеличения подачи выше 2 м³/с эксплуатация насосов переходит в кавитационный режим вплоть до полной остановки агрегатов [3, 4, 11].

Рисунок 1 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 при разных условиях эксплуатации

Figure 1 – Actual operating parameters of the pump D 6300-80 under different operating conditions

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

Table 1 – Calculated data for determining the resistivity of three sections of the network (suction, pressure distribution and pressure main pipeline for the main pumping units)

№ п/п	Участок / Plot	Длина / Length, м / m	Расчетный, внутренний диаметр (по допустимой скорости) / Design, inner diameter (permissible speed), м / m	Площадь поперечного сечения трубопровода / Cross-sectional area of the pipeline, м ² / m ²	Удельные сопротивление / Specific resistance, с ² /м ⁵ / s ² /m ⁵
1	Первый / First	13,5	1,12	0,98	0,25
2	Второй / Second	43,0	0,52	0,21	0,99
3	Третий / Third	3608	1,12	0,98	3,41

Таблица 2 – Фактические гидравлические параметры насосного оборудования при различных эксплуатационных вариантах насосной станции (без учета высоты подъема 58,0 м)

Table 2 – Actual hydraulic parameters of pumping equipment for various operating options of the pumping station (excluding the lifting height 58.0 m)

№ участка / № plot	Подача, по рисунку 1 / Feed, according to figure 1, м ³ /с, m ³ /s	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания / Permissible vacuum suction lift H _{вак доп} , м / m	Скорость в трубопроводе, м/с при d ₁ =1,12 при d ₂ =0,52 при d ₃ =1,12 / Pipeline speed, m/s at d ₁ =1,12 at d ₂ =0,52 at d ₃ =1,12	Скоростной напор на участках / High-speed pressure in areas V ₁ ² /2g, V ₂ ² /2g, V ₃ ² /2g, м / m	Потери напора (на участках) / Head loss (in areas), h _{wi} , м / m (рисунок 1) / (figure 1)	Геометрическая высота всасывания / Geometric suction head H _{г.вс} = H _{вак доп} – h _{wi} , М / m	Полная энергия / Full energy, м / m Э _п = H _{г.вс} + $\frac{V_i^2}{2g}$
Один насос на один трубопровод / One pump for one pipeline							
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 / Two pumps per pipeline							
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) / Three pumps per pipeline (excluding lifting height)							
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) / Three pumps in two pipelines (excluding lifting height)							
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

Рисунок 2 – Технологическая схема установки основного и вспомогательного оборудования, всасывающих и напорных трубопроводов:

- 1 – основные насосные агрегаты; 2 – задвижки на напорных распределительных трубопроводах; 3 – задвижки на всасывающих трубопроводах; 4 – монтажные вставки; 5 – обратные клапаны на напорных распределительных трубопроводах; 6 – обратный клапан бустерного насоса; 7 – задвижка бустерного насоса; 8 – бустерный насос; 9 – задвижки на напорных магистральных трубопроводах; 10 – дренажный приямок; 11 – всасывающие трубопроводы $D_y = 1200$ мм; 12 – всасывающий трубопровод бустерного насоса $D_y = 100$; 13 – напорный трубопровод бустерного насоса; 14 – напорные распределительные трубопроводы основных насосов; 15 – распределительный коллектор

Figure 2 – Technological diagram of the installation of the main and auxiliary equipment, suction and pressure pipelines:

- 1 – main pumping units; 2 – gate valves on pressure distribution pipelines; 3 – gate valves on the suction pipelines; 4 – mounting inserts; 5 – check valves on pressure distribution pipelines; 6 – check valve of the booster pump; 7 – valve of the booster pump; 8 – booster pump; 9 – gate valves on pressure main pipelines; 10 – drainage pit; 11 – suction pipelines $D = 1200$ mm; 12 – suction pipeline of the booster pump $D = 100$; 13 – pressure line of the booster pump; 14 – pressure distribution pipelines of the main pumps; 15 – distribution manifold

Установка работает следующим образом.

При необходимости изменения высоты всасывания насоса открывается задвижка 1 линии рециркуляции 2, и водяной поток в конфузоре 3 вследствие увеличенной скорости создает вакуум в воздухопроводе 4, способствующий открытию клапана 5 и впуску воздуха во всасывающий трубопровод насоса для увеличения энергии и возможности регулирования подачи.

Рисунок 3 – Схема установки струйного аппарата во всасывающем трубопроводе основного насоса:

- 1 – задвижка; 2 – линия рециркуляции; 3 – конфузор; 4 – воздухопровод; 5 – клапан;
6 – всасывающий трубопровод; 7 – рабочий трубопровод струйного аппарата;
8 – струйный аппарат

Figure 3 – Installation diagram of the jet device in the suction pipe-line of the main pump:

- 1 – valve; 2 – recirculation line; 3 – confuser; 4 – air duct; 5 – valve; 6 – suction pipeline;
7 – working pipeline of the jet apparatus; 8 – jet apparatus

Результаты. Расчет увеличения энергии во всасывающем трубопроводе проводится для кольцевого струйного аппарата с повышенными энергетическими характеристиками [8, 9] и сводится к определению напора, величина которого фактически равна значению повышения кавитационного запаса, рассматриваемого насосного оборудования. Исходные данные для расчета приведены в таблице 3, расчет – в таблице 4.

Таблица 3 – Исходные данные для расчета величины увеличения потенциальной энергии во всасывающем трубопроводе с помощью линии рециркуляции и кольцевого струйного аппарата

Table 3 – Initial data for calculating the magnitude of the increase in potential energy in the suction pipeline using a recirculation line and an annular jet apparatus

Линия рециркуляции / Recirculation line		Коэффициенты гидравлических сопротивлений / Coefficients of hydraulic resistance		Внутренний диаметр всасывающего трубопровода основного насоса / Inner diameter of the suction pipe of the main pump	Геометрическая высота всасывания / Geometric suction head, м / m
Подача / Innings, м ³ /с / m ³ /s	Напор / Pressure, м / m	Сопла / Nozzles «ζ ₀ »	Линии рециркуляции/ Recirculation line «λ _p »		
Расчетная/ Estimated (принимается по допустимой скорости 2,5 м/с и диаметру трубопровода 150 мм/ is taken at a permissible speed of 2.5 m/s and a pipeline diameter of 150 mm) 0,044 м ³ /с (m ³ /s)	Принимается по фактическим значениям 76 м/ Accepted based on actual values 76 m (рисунок 1/ figure 1)	Принимается по опытным данным/ Accepted according to experimental data [10]	Для стальных трубопроводов 0,02/ For steel pipelines 0,02 [10]	Принимается по фактическим величинам, установленным на насосной станции/ Taken according to actual values set at the pumping station, 1,12 м/м	1,5 м/м (рисунок 1/ figure 1)

Таблица 4 – Расчет увеличения энергии во всасывающем трубопроводе рассматриваемого насоса Д6300-80

Table 4 – Calculation of the increase in energy in the suction pipeline of the considered pump D6300-80

№ п/п / Number in order	Наименование параметра / Parameter name	Едини- цы изме- рения / Units	Расчетная зависи- мость / Calculated dependence	Ссылка на литера- турный источник / Link to literary source	Коли- чество / number
1	2	3	4	5	6
1	Напор в линии рециркуляции / Recirculation head (в рабочем тру- бопроводе струйного аппарата / in the working pipeline of the jet apparatus) $H_{нпр}$	м/м	Принимается факти- ческая величина по рисунку 1/ The actual value is taken accord- ing to Figure 1	_____	73,6
2	Коэффициент эжекции струйного аппарата / Ejection coefficient of jet apparatus α_0 (отношение под- сасываемого расхода Q_1 к расхо- ду в рабочем трубопроводе Q_0 / the ratio of the suction flow rate Q_1 to the flow rate Q_0 in the working pipeline)	_____	Принимается для максимального КПД/ Taken for max- imum efficiency, 40 %	[8]	2,0
3	Геометрическая характеристика / Geometric characteristic «m» (от- ношение площади поперечного сечения сопла к площади попе- речного сечения камеры смеше- ния / the ratio of the cross-sectional area of the nozzle to the cross- sectional area of the mixing chamber)	_____	Принимается/ Is ac- cepted	[9]	4,0
4	Относительный напор струйного аппарата / The relative head of the jet apparatus, $\bar{H}_r$ (фактическая от- носительная величина увеличе- ния кавитационного запаса / the actual relative magnitude of the increase in the cavitation reserve)	_____	$\bar{H}_r = 1/m$ (отноше- ние действительного напора $H_{г.пр}=20$ м к скоростному напору $V_0^2/2g$) / (the ratio of the actual head $H_{г.пр}$ $= 20$ m to the velocity head $V_0^2/2g$)	[9]	0,20
5	Скорость в сопле струйного ап- парата / Speed in the nozzle of the jet apparatus, V_0	м/с (m/s)	$V_0 = \varphi \sqrt{2g \cdot H_{нпр}} =$ $= 0,8 \sqrt{19,62 \cdot 73,6}$	[2]	30,19
6	Скоростной напор в сопле / Ve- locity head in the nozzle, $V_0^2/2g$	м/м	$V_0^2/2g =$ $= 30,19^2/19,62$	[2]	46,45

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6
7	Подача в линии рециркуляции (рабочем трубопроводе струйного аппарата / Supply in the recirculation line (working pipeline of the jet apparatus), Q_0)	$\text{м}^3/\text{с}$ (m^3/s)	Рассчитывается по скорости V_p и диаметру линии рециркуляции 2,5 м/с/ Calculated from the speed V_p and the diameter of the recirculation line 2.5 m/s, $D_p = 150 \text{ мм/mm}$, $Q_0 = 0,785 D_p^2 \cdot V_p$	[2]	0,044
8	Подсасываемый расход струйного аппарата / Suction flow rate of the jet apparatus, Q_1	$\text{м}^3/\text{с}$ (m^3/s)	$Q_1 = \alpha_0 \cdot Q_0$ $= 0,044 \cdot 2,0$	[2]	0,088
9	Суммарный расход в струйном аппарате / Total consumption in the jet apparatus, Q_2	$\text{м}^3/\text{с}$ (m^3/s)	$Q_2 = Q_0 + Q_1$ $= 0,044 + 0,088$	—	0,132
10	Расход во всасывающем трубопроводе основного насоса / Flow rate in the suction line of the main pump, Q_H	$\text{м}^3/\text{с}$ (m^3/s)	(таблица 2/ table 2)	—	2,29
11	Расход во всасывающем трубопроводе (без суммарного расхода струйного аппарата) / Suction pipe flow (excluding the total flow of the jet device)	$\text{м}^3/\text{с}$ (m^3/s)	$Q'_H = Q_H - Q_2$ $= 2,29 - 0,132$	—	2,158
12	Скоростной напор во всасывающем трубопроводе основного насоса (фактический, без расхода линии рециркуляции и подсасываемого расхода в струйном аппарате) / High-speed head in the suction line of the main pump (actual, without the flow of the recirculation line and the suction flow in the jet device)	м/м	$\frac{V_H^2}{2g} = \frac{2,19^2}{19,62}$ при $D_{\text{вс}}=1,12 \text{ м}$ $V_H = \frac{2,158}{0,785 \cdot 1,12} = 2,19 \text{ м/с}$	[7]	0,24
13	Скоростной напор с учетом суммарного расхода струйного аппарата при расходе / Velocity head taking into account the total flow rate of the jet apparatus, at flow rate $Q_H + Q_2$, $\frac{V_{1H}^2}{2g}$	м/м	$Q_H + Q_2 = 2,29 + 0,132 = 2,42 \text{ (м}^3/\text{с)}$ $V_{1H} = \frac{2,42}{0,785 \cdot 1,12} = 2,45 \text{ (м}^3/\text{с)}$ $\frac{V_{1H}^2}{2g} = \frac{2,45^2}{19,62}$	[7]	0,30
14	Расчетный напор струйного аппарата (величина увеличения кавитационного запаса) / Estimated pressure of the jet apparatus (the amount of increase in the cavitation reserve)	м/м	$H_{\text{г.пр}} = \bar{H}_r \cdot \frac{V_0^2}{2g}$ $= 0,20 \cdot 46,45$	[7]	9,29

Обсуждение. По расчетным данным видно, что значение скоростного напора во всасывающем трубопроводе с установкой струйного аппарата практически не увеличивает величину кинетической энергии 0,30 м против 0,24 м и не оказывает существенно-

го влияния на полную энергию. На полную энергию во всасывающем трубопроводе наибольшее влияние оказывает напор струйного аппарата, фактически повышающий значение кавитационного запаса на 9,29 м и снижающий напор насоса и соответственно, потребляемую мощность.

Рассчитанное значение напора струйного аппарата, увеличивающее потенциальную энергию во всасывающем трубопроводе, на полную энергию в напорных трубопроводах также не оказывает влияния.

Выводы. При наличии линии рециркуляции, повышающей кавитационный запас, установлено, что значение кинетической энергии во всасывающем трубопроводе практически не изменяется, при явном увеличении потенциальной энергии до значения напора струйного аппарата 9,29 м.

Установка струйных аппаратов на всасывающей линии и линии рециркуляции, повышающих высоту всасывания насосного оборудования, не оказывает влияния на полную энергию в напорном трубопроводе, и при расчетах нет необходимости в ее учете.

Библиографический список

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. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44097791>.
2. Альтшуль А. Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Недра, 1982. 224 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001110265>.
3. Бегляров Д. С., Назаркин Э. Е., Бакштанин А. М. Анализ и учет особенностей структуры напорных систем водоснабжения при расчете переходных процессов // Природообустройство. 2019. № 4. С. 91-94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41280986>.
4. 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. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23999905>.
5. Бегляров Д. С. Расчетная оценка допустимых напряжений на напорных трубопроводах насосных станций при гидравлическом ударе // Природообустройство. 2014. № 1. С. 68-71. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21338325>.
6. Пашков П. В., Мазанов Р. Р., Тарасьянц С. А. Теория расчёта кавитационного запаса центробежных насосов // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 3(35). С. 146-150. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36296851>.
7. Пашков П. В., Шевченко В. О. Методы расчёта всасывающих трубопроводов при заполнении перед пуском насосного агрегата // Наука и молодёжь. НИМИ Донской ГАУ, 2018. С. 86-89. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36338609>.
8. Пути снижения энергетических затрат на насосных станциях мелиоративного назначения / С. А. Тарасьянц, О. И. Рахмянская, А. С. Тарасьянц, Ю. В. Бандюков, Ю. С. Уржумова, Д. С. Ефимов, Р. Р. Мазанов // Проблемы развития АПК региона. 2016. № 2(26). С. 67-75. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26427316>.
9. Фридман В. Э. Гидроэлеваторы. Москва: Машгиз, 1960. 323 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006268235>.
10. Ширяев В. Н. 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.
11. Abdel-Gawad, Hossam 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>.
12. Water Hammer Investigation of the Shut-Down of a High-Head Hydropower Plant at Very High Reynolds Number Flows / U. Karadžić, A. Bergant, D. Starinac, B. Božović // Journal of Mechanical Engineering. 2019. Vol. 65. Iss. 7/8. P. 430-440. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2019.6092>.

Conclusions. In the presence of a recirculation line that increases the cavitation reserve, it was found that the value of the kinetic energy in the suction pipeline practically does not change, with a clear increase in potential energy up to the pressure of the jet apparatus of 9.29 m.

The installation of jet devices on the suction line and the recirculation line, which increase the suction height of the pumping equipment, does not affect the total energy in the pressure pipeline and there is no need to take it into account in calculations.

Reference

1. Ali M. S., Beglyarov D. S., Nazarkin Je. E. Osobennosti rascheta perehodnyh processov v vodovodah nasosnyh stancij v usloviyah obrazovaniya razryvov sploshnosti potoka // Prirodoobustrojstvo. 2020. № 4. P. 122-128. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44097791>.
2. Al'tshul' A. D. Gidravlicheskie soprotivleniya. 2-e izd. pererab. i dop. M.: Nedra, 1982. 224 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01001110265>.
3. Beglyarov D. S., Nazarkin Je. E., Bakshtanin A. M. Analiz i ucheta osobennostej struktury napornyh sistem vodosnabzheniya pri raschete perehodnyh processov // Prirodoobustrojstvo. 2019. № 4. P. 91-94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41280986>.
4. Beglyarov D. S., Ali M. S. Issledovaniya perehodnyh processov v napornyh kommunikatsiyah nasosnyh stancij s osevmi nasosami pri puske agregatov // Prirodoobustrojstvo. 2015. № 3. P. 74-78. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23999905>.
5. Beglyarov D. S. Raschetnaya ocenka dopustimyh napryazhenij na napornyh truboprovodakh nasosnyh stancij pri gidravlicheskom udare // Prirodoobustrojstvo. 2014. № 1. P. 68-71. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21338325>.
6. Pashkov P. V., Mazanov R. R., Taras'yanc S. A. Teoriya raschjota kavitacionnogo zapasa centrezhnyh nasosov // Problemy razvitiya APK regiona. 2018. № 3(35). P. 146-150. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36296851>.
7. Pashkov P. V., Shevchenko V. O. Metody raschjota vsasyvayuschih truboprovodov pri zapolnenii pered puskom nasosnogo agregata // Nauka i molodjozh'. NIMI Donskoj GAU, 2018. P. 86-89. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36338609>.
8. Puti snizheniya jenergeticheskikh zatrat na nasosnyh stanciyah meliorativnogo naznacheniya / S. A. Taras'yanc, O. I. Rahnyanskaya, A. S. Taras'yanc, Yu. V. Bandyukov, Yu. S. Urzhumova, D. S. Efimov, R. R. Mazanov // Problemy razvitiya APK regiona. 2016. № 2(26). P. 67-75. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26427316>.
9. Fridman V. Je. Gidro]levatory. Moskva: Mashgiz, 1960. 323 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01006268235>.
10. Shiryaev V. N. Ispol'zovanie busternogo nasosa v kachestve dopolnitel'nogo nasosnogo agregata pri gashenii gidravlicheskogo udara v napornyh truboprovodakh // Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotehnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva. 2020. № 4(48). P. 134-147.
11. Abdel-Gawad, Hossam 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>.
12. Water Hammer Investigation of the Shut-Down of a High-Head Hydropower Plant at Very High Reynolds Number Flows / U. Karadžić, A. Bergant, D. Starinac, B. Božović // Journal of Mechanical Engineering. 2019. Vol. 65. Iss. 7/8. P. 430-440. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2019.6092>.

Authors Information

Shiryaev Vadim Nikolaevich, Chief Engineer Research Institute "EnergoHydroMech" Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Agrarian University" (st. Pushkinskaya 111, Novocherkassk, Rostov reg., 346428 Russian Federation) E-mail: vadik334@mail.ru.

Urzhumova Yulia Sergeevna, Candidate of technical science, Associate professor of Department of «Land Reclamation» Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Agrarian University" (st. Pushkinskaya 111, Novocherkassk, Rostov reg., 346428 Russian Federation). E-mail: urzhumovay@mail.ru.

Tarasyants Sergey Andreevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of «Water Supply and Utilization of Water Resources» Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Don State Agrarian University" (st. Pushkinskaya 111, Novocherkassk, Rostov reg., 346428 Russian Federation). E-mail: starasyancz@mail.ru.

Информация об авторах

Ширяев Вадим Николаевич, главный инженер НИИ «ЭнергоГидроМех», Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО "Донской государственный аграрный университет" (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), E-mail: vadik334@mail.ru

Уржумова Юлия Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Мелиорации земель» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО "Донской государственный аграрный университет" (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), E-mail: urzhumovay@mail.ru

Тарасьянц Сергей Андреевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Водоснабжения и водоотведения» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО "Донской государственный аграрный университет" (346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111), E-mail: starasyancz@mail.ru