

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 631.624

doi: 10.31774/2712-9357-2022-12-4-136-153

Экспериментальное определение величины снижения энергозатрат мелиоративных насосных станций вследствие использования остаточной энергии в трубопроводной сети

**Юлия Сергеевна Уржумова, Дмитрий Степанович Цыпленков,
Владислав Борисович Панов, Сергей Андреевич Тарасьянц**

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

Автор, ответственный за переписку: Юлия Сергеевна Уржумова, urzhumovay@mail.ru

Аннотация. Цель: экспериментальное определение возможности снижения энергозатрат насосного оборудования мелиоративных насосных станций вследствие использования остаточной энергии при понижении напора в трубопроводной сети. **Материалы и методы.** Исследования и расчеты проводились на насосной станции «Рассвет-8» Изобильненского филиала ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз». Для экспериментального определения величины снижения энергозатрат устанавливались: гидравлические параметры эксплуатируемого насосного оборудования во всасывающем и напорном распределительном трубопроводах при максимальных величинах напора в сети, величина остаточной энергии между точками в трубопроводе при отборе из источников водопотребления в случае уменьшения напора в сети. **Результаты.** Экспериментально определены гидравлические параметры насосного оборудования: потребляемая мощность от 669,18 до 540,54 кВт при напорах от 106,88 до 126,52 м, подачах от 0,46 до 0,28 м³/с, КПД от 0,72 до 0,68, полной энергии во всасывающем трубопроводе от 1,75 до 5,71 м, величина в точке отбора источника водопотребления на расстоянии 1450 м от здания насосной станции, напора от 80,28 до 106,67 м, расхода от 0,49 до 0,43 м³/с, вакуума во всасывающем трубопроводе от 2,0 до 5,8 м; расчетное значение повышения высоты всасывания насоса и, как следствие, уменьшения напора в сети от 10,24 до 17,92 м; величина уменьшения потребляемой энергии при увеличении высоты всасывания с помощью струйного аппарата от 28,04 до 70,24 кВт при подачах от 0,40 до 0,28 м³/с. **Выводы:** сравнение результатов проведенных теоретических исследований наличия остаточной энергии в случае изменения точек отбора потребителем и разности фактической полезной мощности в точках замера 96,1 кВт и экспериментальных данных о величине уменьшения потребляемой энергии 70,24 кВт при увеличении высоты всасывания подтверждает возможность использования остаточной энергии и уменьшения напора и потребляемой мощности насосов.

Ключевые слова: насосная станция, струйный аппарат, гидравлические параметры, насосный агрегат, потребляемая мощность, напор сети, всасывающий трубопровод, величина вакуума

Для цитирования: Экспериментальное определение величины снижения энергозатрат мелиоративных насосных станций вследствие использования остаточной энергии в трубопроводной сети / Ю. С. Уржумова, Д. С. Цыпленков, В. Б. Панов, С. А. Тарасьянц // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12, № 4. С. 136–153. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-136-153>.



LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

Experimental determination of the energy reduction magnitude in reclamation pumping stations consumption due to the use of residual energy in the pipeline network

Yulia S. Urzhumova, Dmitry S. Tsyplenkov, Vladislav B. Panov, Sergey A. Tarasyants

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

Corresponding author: Yulia S. Urzhumova, urzhumovay@mail.ru

Abstract. Purpose: experimental determination of the possibility of energy consumption reduction of pumping equipment of reclamation pumping stations due to the use of residual energy with a pressure fall in the pipeline network. **Materials and methods.** Research and calculations were carried out at the Rassvet-8 pumping station of the Izobilnensky branch of the Federal State Financed Institution “Administration Office Stavropolmeliovodkhoz”. To determine the magnitude of the energy consumption reduction experimentally, the following were established: the hydraulic parameters of the operated pumping equipment in the suction and pressure distribution pipelines at maximum pressure in the network, the amount of residual energy between points in the pipeline when withdrawing from water consumption sources in the case of a decrease in pressure in the network. **Results.** The hydraulic parameters of pumping equipment were determined experimentally: power consumption from 669.18 to 540.54 kW at heads from 106.88 to 126.52 m, deliveries from 0.46 to 0.28 m³/s, efficiency from 0.72 up to 0.68, total energy in the suction pipeline from 1.75 to 5.71 m, value at the point of selection of the source of water consumption at a distance of 1450 m from the building of the pumping station, head from 80.28 to 106.67 m, flow from 0.49 to 0.43 m³/s, suction pipe vacuum from 2.0 to 5.8 m; the calculated value of increasing the suction height of the pump and, as a result, reducing the pressure in the network from 10.24 to 17.92 m; the magnitude of the reduction in energy consumption with an increase in suction height using a jet apparatus from 28.04 to 70.24 kW at feed rates from 0.40 to 0.28 m³/s. **Conclusions:** a comparison of the results of the theoretical studies of the residual energy presence in the case of a change in the points of selection by the consumer and the difference in the actual useful power at the points of measurement of 96.1 kW and experimental data on the magnitude of the reduction in energy consumption of 70.24 kW with an increase in suction height confirms the possibility use of residual energy and reduce the pressure and power consumption of the pumps.

Keywords: pumping station, jet apparatus, hydraulic parameters, pumping unit, power consumption, network pressure, suction pipeline, vacuum amount

For citation: Urzhumova Yu. S., Tsyplenkov D. S., Panov V. B., Tarasyants S. A. Experimental determination of the energy reduction magnitude in reclamation pumping stations consumption due to the use of residual energy in the pipeline network. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2022;12(4):136–153. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2022-12-4-136-153>.

Введение. Переход РФ на рыночную экономику привел все организации мелиоративного профиля к необходимости учета каждого киловатт-часа израсходованной электроэнергии. Энергонасыщенные мелиоративные

насосные станции, расход которых измеряется сотнями тысяч израсходованной электроэнергии, эксплуатировать в таких условиях сложно, так как до настоящего времени в большинстве своем оплата производилась из бюджетных средств. Только по Северному Кавказу общая установленная мощность мелиоративных насосных станций составляет 538627 кВт [1–3]. Энергия во всех случаях тратится как на фактический подъем воды, так и на другие, непроизводительные расходы.

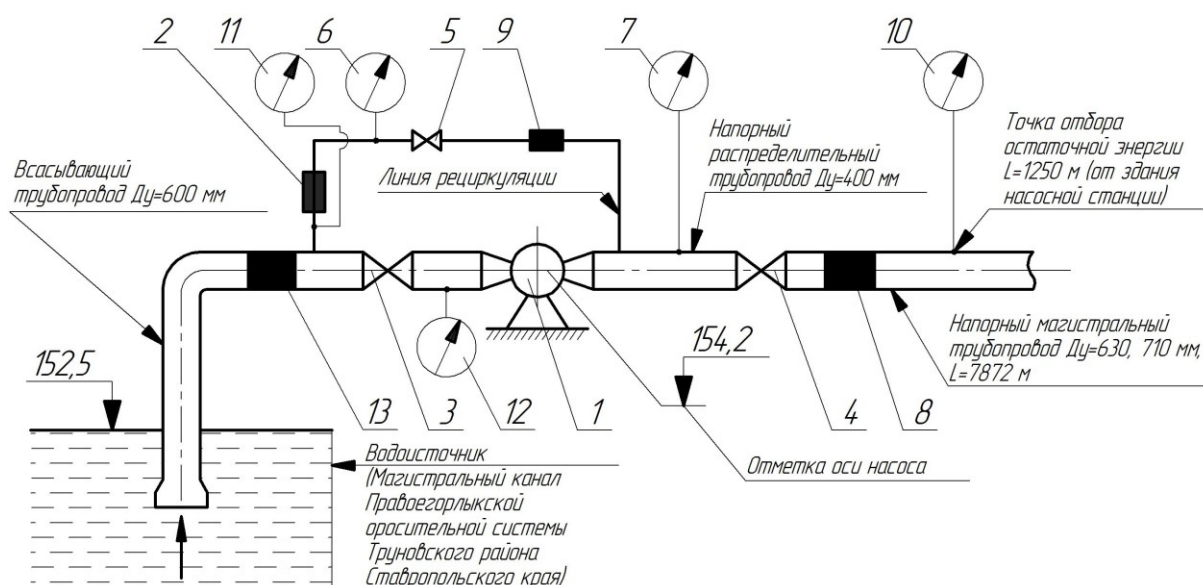
При проектировании оросительных сетей [4, 5] проектными организациями принимается максимальный расчетный напор. Между тем до 50 % и более оросительного сезона насосные станции работают с напором ниже максимального в связи с изменяющимися условиями водозабора, а также местом установки дождевальной техники. Очевидно, что для энергоэффективного определения напора насосной станции в различные сроки оросительного сезона необходимо разработать такую методику расчета гидравлических параметров сети, когда весь оросительный период, при различных колебаниях уровней в водозаборе и вариантах расстановки дождевальной техники насосные агрегаты работали бы в оптимальном режиме с максимальным КПД.

Цель исследований – экспериментальное определение возможности снижения энергозатрат насосного оборудования мелиоративных насосных станций вследствие использования остаточной энергии при понижении напора в трубопроводной сети.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводились на насосной станции «Рассвет-8» (рисунок 1) Изобильненского филиала ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз» с целью определения возможности понижения затраченной насосным оборудованием мощности вследствие использования накопленной остаточной энергии при понижении напора в сети. Оборудование установлено по схеме, показанной на рисунке 2.



Рисунок 1 – Насосно-силовое оборудование насосной станции «Рассвет-8» (фото Д. С. Цыпленкова)
Figure 1 – Pumping and power equipment of the Rassvet-8 pumping station (photo by D. S. Tsyplenkov)



1 – центробежный насос Д1250-125; 2 – кольцевой двухповерхностный струйный аппарат; 3, 4, 5 – задвижки; 6, 7, 10, 11 – манометры; 8, 9, 13 – расходомеры; 12 – мановакуумметр

1 – centrifugal pump D1250-125; 2 – annular two-surface jet apparatus; 3, 4, 5 – valves; 6, 7, 10, 11 – manometers; 8, 9, 13 – flow meters; 12 – manovacuummeter

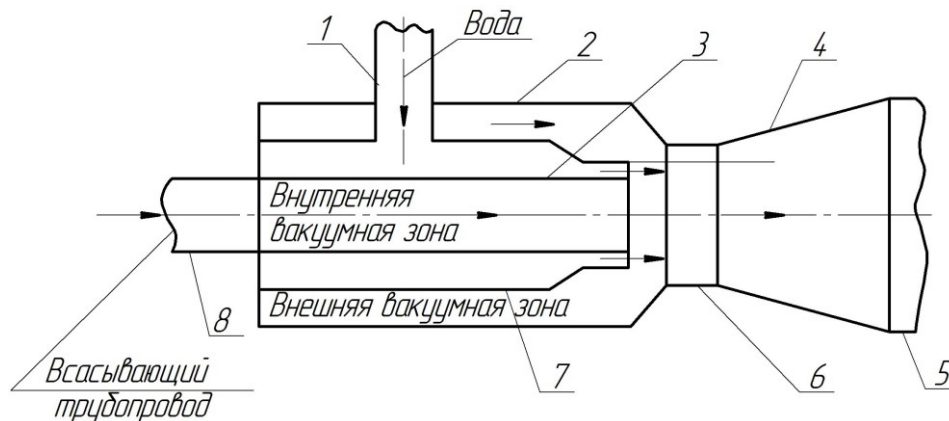
Рисунок 2 – Схема установки оборудования и измерительной аппаратуры при определении остаточной величины энергии вследствие изменения места отбора расхода потребителем

Figure 2 – Installation scheme of equipment and measuring equipment in determining the residual energy due to a location change of selection of consumption by the consumer expenditures

В задачи натурных исследований входило:

- определение гидравлических параметров эксплуатируемого насосного оборудования во всасывающем и напорном распределительном трубопроводах при максимальных величинах напора в сети;
- определение величины остаточной энергии между точками в трубопроводе в случае уменьшения напора в сети;
- определение величины уменьшения потребляемой энергии при увеличении высоты всасывания насосного оборудования с помощью струйного аппарата, установленного на всасывающем трубопроводе;
- расчет с использованием экспериментальных данных значений повышения высоты всасывания насосов и величины уменьшения напора в сети вследствие использования остаточной энергии потока при измененном местоположении потребителя.

В качестве струйного аппарата использовался кольцевой двухповерхностный аппарат с повышенными энергетическими характеристиками (рисунок 3) [6].



- 1 – рабочий трубопровод подачи воды; 2 – внешний корпус смесителя; 3 – внутренний насадок кольцевого сопла; 4 – диффузор; 5 – отводящий трубопровод; 6 – камера смешения; 7 – наружный насадок кольцевого сопла; 8 – всасывающий трубопровод
- 1 – working water supply pipeline; 2 – outer body of the mixer; 3 – inner nose of the annular nozzle; 4 – diffuser; 5 – outlet pipeline; 6 – mixing chamber; 7 – outer nose of the annular nozzle; 8 – suction pipeline

Рисунок 3 – Конструктивная схема кольцевого двухповерхностного струйного аппарата

Figure 3 – Structural diagram of the annular two-surface jet apparatus

Результаты и обсуждение. При определении гидравлических параметров во всасывающем и напорном распределительном трубопроводах использовалось стандартное оборудование, установленное на насосной станции. Гидравлические параметры насосной станции определялись в следующей последовательности:

- измеряется подача насосного агрегата с помощью расходомеров 8, 9, 13 (рисунки 2, 4) во всасывающем и напорном распределительном трубопроводах $Q_{\text{вс}}$, $Q_{\text{н}}$;

- определяется величина вакуума мановакуумметром 12 во всасывающем трубопроводе $H_{\text{вак}}$ (рисунки 2, 5) и давления в напорном распределительном трубопроводе $P_{\text{н}}$ манометром 7 (рисунки 2, 6);

- рассчитывается напор насосной станции [7]:

$$H_{\text{н.с.}} = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1,$$

где $\mathcal{E}_2$ – полная энергия в напорном всасывающем трубопроводе;

$\mathcal{E}_1$ – полная энергия во всасывающем трубопроводе;

- определяется величина напора в точке отбора на расстоянии 1450 м от здания насосной станции манометром 10 (рисунки 2, 7);

- определяется разница напоров в напорном распределительном трубопроводе и в точке отбора ΔH (остаточный напор);

- рассчитывается величина расхода насосного агрегата по заводской характеристике вследствие уменьшения напора в сети ΔQ [8];

- открывается линия рециркуляции задвижкой 5 для включения в работу струйного аппарата с параметрами ΔH и ΔQ ;

- по величинам ΔH и ΔQ рассчитывается величина увеличения высоты всасывания $\Delta H_{\text{вак}}$ вследствие работы струйного аппарата;

- определяется потребляемая мощность насосного агрегата вследствие изменения напора в сети;

- определяется разница между потребляемой мощностью до повышения высоты всасывания и после уменьшения напора в трубопроводе вследствие работы струйного аппарата.



**Рисунок 4 – Расходомер на всасывающем трубопроводе
(фото Д. С. Цыпленкова)**

**Figure 4 – Flow meter on the suction pipeline
(photo by D. S. Tsyplenkov)**



**Рисунок 5 – Мановакуумметр на всасывающем трубопроводе
(фото Д. С. Цыпленкова)**

**Figure 5 – Manovacuummeter on the suction pipeline
(photo by D. S. Tsyplenkov)**



**Рисунок 6 – Манометр на напорном распределительном трубопроводе
(фото Д. С. Цыпленкова)**

**Figure 6 – Pressure gauge on the pressure distribution pipeline
(photo by D. S. Tsyplenkov)**



Рисунок 7 – Манометр в точке отбора (фото Д. С. Цыпленкова)
Figure 7 – Pressure gauge at the sampling point (photo by D. S. Tsyplenkov)

Измеряемые и расчетные гидравлические параметры сведены в таблицу 1 (длина трубопровода 7872 м, диаметр напорного магистрального трубопровода наружный – 630 мм, внутренний – 515,6 мм) и таблицу 2 (длина трубопровода 1450 м).

Таблица 1 – Измеряемые и расчетные гидравлические параметры исследованного напорного трубопровода при максимальных величинах напора в сети

Table 1 – Measured and calculated hydraulic parameters of the studied pressure pipeline at the maximum pressure in the line

Параметр	Значение				
Величина вакуума во всасывающем трубопроводе $\frac{P_{\text{вс}}}{\rho_0}$, м (при максимальном горизонте в канале 152,5)	2,0	3,0	4,0	5,0	5,8
Расход во всасывающем трубопроводе $Q_{\text{вс}}$, м ³ /с	0,40	0,38	0,36	0,32	0,28
Скорость во всасывающем трубопроводе $V_{\text{вс}}$, м/с, $D_{\text{вс.тр.}} = 0,515$ м, $\omega_{\text{вс}} = 0,208$ м ²	2,21	1,82	1,73	1,53	1,34
Скоростной напор во всасывающем трубопроводе $\frac{V_{\text{вс}}^2}{2g}$, м	0,25	0,17	0,15	0,12	0,04
Полная энергия во всасывающем трубопроводе $\mathfrak{E}_1 = \frac{P_{\text{вс}}}{\rho_0} + \frac{V_{\text{вс}}^2}{2g}$, м	1,75	2,83	3,85	4,88	5,71
Величина давления в напорном трубопроводе $\frac{P_{\text{н}}}{\rho_0}$, м (показания манометра)	108,0	112,0	125,0	130,0	132,0
Расход в напорном трубопроводе $Q_{\text{н}}$, м ³ /с	0,46	0,38	0,36	0,32	0,28
Скорость в напорном трубопроводе $V_{\text{н}}$, м/с, при $\omega_{\text{н.тр.}} = 0,13$ м ²	3,53	2,92	2,76	2,46	2,15
Полная энергия в напорном трубопроводе $\mathfrak{E}_2 = \frac{P_{\text{н}}}{g\rho_0} + \frac{V_{\text{н}}^2}{2g}$, м	108,63	112,43	125,38	130,30	132,23
Напор насосного агрегата $H_{\text{н.а.}} = \mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1$, м	106,88	104,6	121,53	125,42	126,52
КПД, η	0,72	0,74	0,78	0,70	0,68
Потребляемая мощность насосного агрегата $N_{\text{н}} = \frac{9,8Q_{\text{н}}H_{\text{н.а.}}}{\eta}$, кВт	669,18	551,55	549,68	540,88	540,54

**Таблица 2 – Измеряемые и расчетные гидравлические параметры
исследованного напорного трубопровода в точке отбора**
**Table 2 – Measured and calculated hydraulic parameters of the
investigated pressure pipeline at the sampling point**

Параметр	Значение				
Величина вакуума во всасывающем трубопроводе, м	2,0	3,0	4,0	5,0	5,8
Расход во всасывающем трубопроводе $Q_{\text{вс}}$, м ³ /с	0,49	0,48	0,47	0,44	0,43
Скорость во всасывающем трубопроводе $V_{\text{вс}}$, м/с, $\omega_{\text{вс}} = 0,208 \text{ м}^2$	2,35	2,30	2,25	2,11	2,06
Скоростной напор во всасывающем трубопроводе $\frac{V_{\text{вс}}^2}{2g}$, м	0,28	0,26	0,25	0,22	0,21
Полная энергия во всасывающем трубопроводе $\mathfrak{E}_1 = \frac{P_{\text{вс}}}{\rho_0} + \frac{V_{\text{вс}}^2}{2g}$, м	1,72	2,74	3,75	4,78	5,59
Расход в точке отбора (фактический, по расходомеру) $Q_{\text{н}}$, м ³ /с	0,49	0,48	0,47	0,44	0,43
Величина давления в точке отбора $\frac{P}{g\rho_0}$, м	81,2	92,0	105,0	110,0	112,0
Скорость в напорном трубопроводе $V_{\text{н}}$, м/с, при $\omega_{\text{н.тр.}} = 0,13 \text{ м}^2$	4,0	3,99	3,61	3,38	3,30
Скоростной напор в напорном трубопроводе $\frac{V_{\text{н}}^2}{2g}$, м	0,81	0,81	0,66	0,88	0,26
Полная энергия в напорном трубопроводе $\mathfrak{E}_2 = \frac{P_{\text{н}}}{g\rho_0} + \frac{V_{\text{н}}^2}{2g}$, м	82,01	92,81	105,66	110,58	112,26
Напор насосного агрегата $H_{\text{н.а.}} = \mathfrak{E}_2 - \mathfrak{E}_1$, м	80,28	90,06	101,91	105,8	106,67
КПД, η (по характеристике)	0,65	0,70	0,72	0,75	0,76
Потребляемая мощность насосного агрегата $N_{\text{н}} = \frac{9,8Q_{\text{н}}H_{\text{н.а.}}}{\eta}$, кВт	593,08	605,2	651,87	608,27	591,45

Величина вакуума во всасывающем трубопроводе изменялась задвижкой 3 (см. рисунок 2).

Анализ данных таблиц 1 и 2 показывает, что независимо от падения напора на 19,03 м в точке, находящейся на расстоянии 1450 м от здания

насосной станции, при постоянных величинах вакуума во всасывающем трубопроводе расход в трубопроводах увеличился при величине вакуума 5,8 м от 0,28 до 0,43 м³/с, это соответствует заводской напорно-расходной характеристике.

При сравнении величин потребляемой мощности по данным таблиц 1 и 2 видно, что их значения практически неизменны независимо от падения напора в среднем на 20 м и увеличения расхода на 0,15 м³/с. Данный факт говорит о возможности использования полученных остаточных величин подачи 0,15 м³/с и напора 20 м для увеличения высоты всасывания и, следовательно, уменьшения напора и потребляемой энергии насосной станции, о чем свидетельствуют данные таблицы 2.

Для решения данной задачи использования остаточных величин подачи и напора при увеличении высоты всасывания и уменьшения потребляемой энергии проведены исследования с использованием теории планирования эксперимента [9], в качестве факторов принимались:

- X_1 – скорость потока во всасывающем трубопроводе, регулируемая задвижкой 3 и определяемая по зависимости:

$$V_{\text{вс}} = \frac{Q_{\text{вс}}}{\omega_{\text{вс}}},$$

где $Q_{\text{вс}}$ – расход во всасывающем трубопроводе;

$\omega_{\text{вс}} = 0,208 \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения всасывающего трубопровода;

- X_2 – скорость потока в сопле струйного аппарата, определяемая по зависимости:

$$V_0 = \phi \sqrt{2gH_{\text{н.пр}}},$$

где ϕ – коэффициент скорости (принимается 0,88);

$H_{\text{н.пр}}$ – напор перед струйным аппаратом;

- X_3 – давление в напорном трубопроводе, измеряемое манометром 10, после задвижки 4 (см. рисунок 2).

В качестве критерия принимался напор струйного аппарата $H_{г.пр}$. Проведено две группы опытов, первая группа для определения влияния каждого фактора на напор струйного аппарата, вторая – для определения максимально возможной величины увеличения высоты всасывания насоса.

Фактические и кодированные параметры факторов по первой группе опытов показаны в таблице 3 и приняты по возможным параметрам исследованной насосной станции.

Таблица 3 – Фактические и кодированные параметры факторов для первой группы опытов

Table 3 – Actual and coded parameters of factors for the first group of experiments

Фактор	Код	Интервал	Уровень		
			Основной «0»	Нижний «-»	Верхний «+»
$V_{вс}$, м/с	X_1	1,0	3,0	2,0	4,0
V_0 , м/с	X_2	5,0	15	10	20
$pH / g\rho_0$, м	X_3	5	90	60	120

Матрица планирования и результаты первой группы опытов показаны в таблице 4.

Таблица 4 – Матрица планирования и результаты первой группы опытов

Table 4 – Planning matrix and results of the first group of experiments

№ опыта	Скорость потока во всасывающем трубопроводе $X_1 (V_{вс})$	Скорость потока в сопле струйного аппарата $X_2 (V_0)$	Давление в напорном трубопроводе $X_3 \left(\frac{pH}{g\rho_0} \right)$	Значение фактора			
				$X_1 (V_{вс})$, м/с	$X_2 (V_0)$, м/с	$X_3 \left(\frac{pH}{g\rho_0} \right)$, м	Напор струйного аппарата $H_{г.пр}$, м
1	2	3	4	5	6	7	8
1	+	+	0	4,0	20,0	90,0	12,4
2	+	–	0	4,0	10,0	90,0	6,5
3	–	+	0	2,0	20,0	90,0	15,0
4	–	–	0	2,0	10,0	90,0	7,2
5	+	0	+	4,0	15,0	120,0	9,4
6	+	0	–	4,0	15,0	60,0	10,0

Продолжение таблицы 4

Table 4 continued

1	2	3	4	5	6	7	8
7	–	0	+	2,0	15,0	120,0	10,1
8	–	0	–	2,0	15,0	60,0	9,9
9	0	+	+	3,0	20,0	120,0	10,8
10	0	+	–	3,0	20,0	60,0	11,4
11	0	–	+	3,0	10,0	120,0	8,1
12	0	–	–	3,0	10,0	60,0	7,8
13	0	0	0	3,0	15,0	90,0	8,8
14	0	0	0	3,0	15,0	90,0	9,0
15	0	0	0	3,0	15,0	90,0	9,4
16	0	0	0	3,0	15,0	90,0	8,9

В результате обработки данных таблицы 4 с использованием подходов, изложенных в работах R. G. Dromey, J. D. Morrison, С. Белоусова, А. Белоусовой [10, 11], построена ранжировочная кривая степени влияния каждого фактора на напор струйного аппарата (рисунок 8).

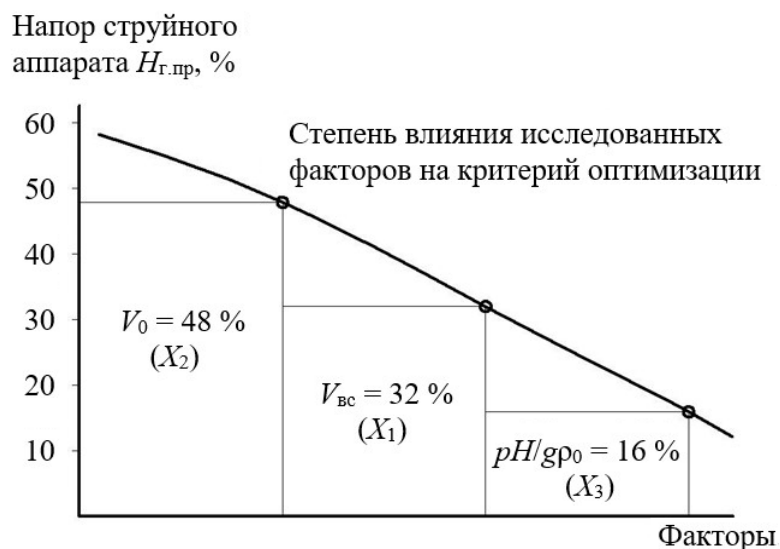


Рисунок 8 – Ранжировочная кривая степени влияния исследованных факторов на напор струйного аппарата

Figure 8 – Ranking curve of the degree of influence of the investigated factors on the pressure of the jet apparatus

Анализ данных рисунка 8 позволил продолжить дальнейшие исследования с факторами X_1 ($V_{вс}$) и X_2 (V_0) с изменением интервалов варьирования и с учетом анализа первой группы опытов. Фактические и кодированные параметры факторов второй группы опытов показаны в таблице 5.

Таблица 5 – Фактические и кодированные параметры факторов для второй группы опытов

Table 5 – Actual and coded parameters of factors for the second group of experiments

Фактор	Код	Интервал	Уровень		
			Основной «0»	Нижний «-»	Верхний «+»
$V_{\text{вс}}$, м/с	X_1	1,5	3,0	1,5	4,5
V_0 , м/с	X_2	10,0	20,0	10,0	30,0

Матрица планирования и результаты второй группы опытов показаны в таблице 6.

Обработка полученных результатов позволила получить математическую зависимость в виде:

$$H_{\text{г.пр}} = 16,88 + 0,44X_1 + 2,40X_2 - 2,0X_1^2 + 0,20X_2^2. \quad (1)$$

Таблица 6 – Матрица планирования и результаты второй группы опытов

Table 6 – Planning matrix and results of the second group of experiments

№ опыта	Скорость потока во всасывающем трубопроводе X_1 ($V_{\text{вс}}$)	Скорость потока в сопле струйного аппарата X_2 (V_0)	Значение фактора		
			$V_{\text{вс}}$, м/с	V_0 , м/с	Напор струйного аппарата $H_{\text{г.пр}}$, м
1	+	+	4,5	30,0	15,8
2	–	–	1,5	10,0	9,4
3	+	–	4,5	10,0	10,0
4	–	+	1,5	30,0	17,1
5	0	+	3,0	30,0	18,0
6	0	–	3,0	20,0	12,0
7	0	0	3,0	20,0	12,4
8	0	0	3,0	20,0	12,0

Анализ данных расчета по уравнению (1) и полученные значения напора струйного аппарата в критических точках сведены в таблицу 7.

Из данных таблицы 7 видно, что полученные величины напора струйного аппарата $H_{\text{г.пр}}$ колеблются в пределах интервалов варьирования, показанных в таблице 6, от 10,24 до 17,92 м, это является возможным следствием повышения высоты всасывания, уменьшения суммарного напора насосной станции на максимальное значение 16,88 м и потребляемой энергии в зависимости от подачи на величину до 46,31 кВт.

Таблица 7 – Значения напора струйного аппарата в критических точках эксперимента, рассчитанные по уравнению (1)

Table 7 – Values of the pressure of the jet apparatus at the critical points of the experiment, calculated by equation (1)

Фактор		Фактическое значение напора $H_{г.пр}$ по уравнению (1), м	Величина уменьшения потребляемой энергии, кВт, при полезном расходе, м ³ /с		
			0,40	0,36	0,28
$X_1 (V_{вс})$, м/с	$X_2 (V_0)$, м/с	$H_{г.пр} = 16,88 + 0,44 + 2,4 - 2,0 + 0,20 = 17,92$ м	70,24	63,22	49,17
4,5 («+»)	30,0 («+»)				
1,5 («-»)	10,0 («-»)	$H_{г.пр} = 16,88 - 0,44 - 2,4 - 2,0 + 0,20 = 10,24$ м	40,14	36,12	28,04
3,0 («0»)	20,0 («0»)	$H_{г.пр} = 16,88$ м	66,16	59,55	46,31

Так как для величины 16,88 м значение скорости во всасывающем трубопроводе принято 3,0 м/с, величину $H_{г.пр} = 16,88$ м следует принимать при длине всасывающего трубопровода не более 10–20 м, в противном случае увеличенный напор компенсируется потерями во всасывающем трубопроводе.

Выводы. На основании проведенных натурных исследований экспериментально определены гидравлические параметры насосного оборудования:

- потребляемая мощность от 669,18 до 540,54 кВт при напорах от 106,88 до 126,52 м, подачах от 0,46 до 0,28 м³/с, КПД от 0,72 до 0,68, полной энергии во всасывающем трубопроводе от 1,75 до 5,71 м, величина в точке отбора источника водопотребления на расстоянии 1450 м от здания насосной станции: напора от 80,28 до 106,67 м, расхода от 0,49 до 0,43 м³/с, вакуума во всасывающем трубопроводе $H_{вак}$ от 2,0 до 5,8 м;

- расчетное значение повышения высоты всасывания насоса и, как следствие, уменьшения напора в сети от 10,24 до 17,92 м;

- величина снижения потребляемой энергии при увеличении высоты всасывания с помощью струйного аппарата от 28,04 до 70,24 кВт в зависимости от подачи от 0,40 до 0,28 м³/с составляет 46,31 кВт.

Список источников

1. Ольгаренко Г. В., Булгаков В. И., Мазурова И. С. Техничко-эксплуатационные параметры гидромелиоративных систем и экологическое состояние орошаемых земель юга России // Вестник мелиоративной науки. 2021. № 3. С. 83–91.
2. Михайлова С. В., Погребная И. А. Повышение производительности центробежных насосов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019. Т. 46, № 2. С. 20–27. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-2-20-27>.
3. Воеводин О. В., Кириленко А. А. Методика оценки уровня мобильности мелиоративных насосных станций // Мелиорация и гидротехника [Электронный ресурс]. 2022. Т. 12, № 2. С. 68–83. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1279> (дата обращения: 25.08.2022). DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-68-83.
4. Особенности работы насосных станций на закрытых оросительных системах / Д. С. Бегларов, Ю. И. Сухарев, М. С. Али, Э. Е. Назаркин // Научная жизнь. 2021. Т. 16, № 5(117). С. 538–553.
5. Сатункин И. В., Гуляев А. И. Стационарные насосные станции, методы повышения их эффективности и проектные решения при реконструкции Черновской оросительной системы // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 2(76). С. 129–133.
6. Способ регулирования мелиоративной насосной станции: пат. 2712335 Рос. Федерация: МПК F 04 D 15/00, F 04 D 13/12, F 04 F 5/54 / Рахнянская О. И., Мазанов Р. Р., Тарасьянц С. А., Тарасьянц А. С.; заявитель и патентообладатель Дон. гос. аграр. ун-т. № 2018125322; заявл. 07.04.17; опубл. 28.01.20, Бюл. № 4. 3 с.
7. Parameters affecting efficiency of centrifugal pump – A review / Chitale Shivani, Jadhav Pranjal, Dhoble Snehal, Deshmukh Satyaajeet // International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 2021. Vol. 8, iss. 6. P. 49–58. DOI: 10.32628/IJSRST218573.
8. Морозов В. А., Морозов А. В. Методика расчета рабочих характеристик центробежного насоса на осадках сточных вод // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 11(1035). С. 32–33.
9. Syzrantsev V., Syzrantseva K. Processing of experimental data by means of nonparametric statistics // Journal of Physics: Conference Series. 2018. 1059. 012019. DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012019.
10. Dromey R. G., Morrison J. D. Deconvolution, and its application to the processing of experimental data // International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics. 1970. 4. P. 475–482. DOI: 10.1016/0020-7381(70)85064-1.
11. Belousov S., Belousova A. Mathematical processing of experimental data of the agricultural working body // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 971. 052059. DOI: 10.1088/1757-899X/971/5/052059.

References

1. Olgarenko G.V., Bulgakov V.I., Mazurova I.S., 2021. *Tekhniko-ekspluatazionnye parametry gidromeliorativnykh sistem i ekologicheskoe sostoyanie oroshaemykh zemel' yuga Rossii* [Technical and operational parameters of irrigation and drainage systems and the ecological state of irrigated lands in the south of Russia]. *Vestnik meliorativnoy nauki* [Land Reclamation Bulletin], no. 3, pp. 83-91. (In Russian).
2. Mikhailova S.V., Pogrebnaya I.A., 2019. *Povyshenie proizvoditel'nosti tsentrobezhnykh nasosov* [Increasing of centrifugal pump performance]. *Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences], vol. 46, no. 2, pp. 20-27, <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2019-46-2-20-27>. (In Russian).

3. Voevodin O.V., Kirilenko A.A., 2022. [Methodology for assessing the mobility level of reclamation pumping stations]. *Melioratsiya i gidrotekhnika*, vol. 12, no. 2, pp. 68-83, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1279> [accessed 25.08.2022], DOI: 10.31774/2712-9357-2022-12-2-68-83. (In Russian).

4. Beglyarov D.S., Sukharev Yu.I., Ali M.S., Nazarkin E.E., 2021. *Osobennosti raboty nasosnykh stantsiy na zakrytykh orositel'nykh sistemakh* [Features of operation of pumping stations on closed irrigation systems]. *Nauchnaya zhizn'* [Scientific Life], vol. 16, no. 5(117), pp. 538-553. (In Russian).

5. Satunkin I.V., Gulyaev A.I., 2019. *Statsionarnye nasosnye stantsii, metody povysheniya ikh effektivnosti i proektnye resheniya pri rekonstruktsii Chernovskoy orositel'noy sistemy* [Stationary pumping stations, methods for improving their efficiency and design solutions for the reconstruction of Chernovskaya irrigation system]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Orenburg State Agrarian University], no. 2(76), pp. 129-133. (In Russian).

6. Rakhnyanskaya O.I., Mazanov R.R., Tarasyants S.A., Tarasyants A.S., 2020. *Sposob regulirovaniya meliorativnoy nasosnoy stantsii* [Method of Regulating Reclamation Pumping Station]. Patent RF, no. 2712335. (In Russian).

7. Shivani Chitale, Pranjali Jadhav, Snehal Dhoble, Satyajeet Deshmukh, 2021. Parameters affecting efficiency of centrifugal pump - A review. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, vol. 8, iss. 6, pp. 49-58, DOI: 10.32628/IJSRST218573.

8. Morozov V.A., Morozov A.V., 2020. *Metodika rascheta rabochikh kharakteristik tsentrobezhnogo nasosa na osadkakh stochnykh vod* [Method for calculating the operating characteristics of a centrifugal pump on sewage sludge]. *BST: Byulleten' stroitel'noy tekhniki* [BST: Bulletin of Construction Equipment], no. 11(1035), pp. 32-33. (In Russian).

9. Syzrantsev V., Syzrantseva K., 2018. Processing of experimental data by means of nonparametric statistics. *Journal of Physics: Conference Series*, 1059, 012019, DOI: 10.1088/1742-6596/1059/1/012019.

10. Dromey R.G., Morrison J.D., 1970. Deconvolution, and its application to the processing of experimental data. *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Physics*, no. 4, pp. 475-482, DOI: 10.1016/0020-7381(70)85064-1.

11. Belousov S., Belousova A., 2020. Mathematical processing of experimental data of the agricultural working body. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 971, 052059, DOI: 10.1088/1757-899X/971/5/052059.

Информация об авторах

Ю. С. Уржумова – кандидат технических наук, доцент, urzhumovay@mail.ru

Д. С. Цыпленков – аспирант, urzhumovay@mail.ru

В. Б. Панов – аспирант, urzhumovay@mail.ru

С. А. Тарасьянц – доктор технических наук, профессор, urzhumovay@mail.ru

Information about the authors

Yu. S. Urzhumova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, urzhumovay@mail.ru

D. V. Tsyplenkov – Postgraduate Student, urzhumovay@mail.ru

V. B. Panov – Postgraduate Student, urzhumovay@mail.ru

S. A. Tarasyants – Doctor of Technical Sciences, Professor, urzhumovay@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата и других нарушений в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for detecting plagiarism, self-plagiarism and other ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 08.07.2022; одобрена после рецензирования 12.10.2022; принята к публикации 20.10.2022.

The article was submitted 08.07.2022; approved after reviewing 12.10.2022; accepted for publication 20.10.2022.