

ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Научная статья

УДК 626.83

Разработки нового насосного оборудования для мелиоративно-водохозяйственных комплексов

**Фахриддин Жайловович Носиров¹, Ильхам Узакович Курбанов²,
Олег Яковлевич Гловацкий³, Равшан Комилжонович Дусматов⁴,
Гулноза Сатторовна Азизова⁵**

^{1, 4, 5}Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова,
Ташкент, Узбекистан

^{2, 3}Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Карасу-4/11,
Ташкент, Узбекистан

¹nosirov-0173@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3295-8187>

²ilxom-kubonov@umail.uz, <https://orcid.org/0009-0001-6834-8308>

³n_naira1982@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8309-7893>

⁴dusmatov41@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-6572-8359>

⁵a.gulnozaa1987@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9992-1752>

Аннотация. Целью исследования является разработка новых конструкций насосного оборудования с устранением причин износа и выхода из строя рабочих органов лопастных насосов. Авторы предлагают новые расчеты динамики изменения коэффициента готовности, интенсивности отказа и восстановления в заданном интервале времени рабочего колеса с усовершенствованными проточной частью и деталями насосов. **Материалы и методы.** Применены стандартные методы математического и гидравлического моделирования, их численное решение с уточнением методики расчета технологических процессов в насосах за счет изменения количества лопастей рабочих колес, углов ввода и вывода потока. **Результаты.** Обоснована необходимость решения проблемы управления водоподачей насосных станций в мелиоративно-водохозяйственных комплексах с применением методов, позволяющих учитывать динамические характеристики процессов при работе насосов. Производительность насосов зависит от формы сечения лопастей рабочего колеса, угла их наклона и количества. **Выводы.** Предложено устройство новых элементов на основе расчета потока, ограниченного только боковыми стенками. Узлы разработаны на основании результатов большого числа произведенных авторами испытаний насосов и эксплуатационных обследований ирригационных насосных станций. Определение экономически целесообразной продолжительности периода эксплуатации насосных агрегатов с учетом изменения состояния насоса и динамики изменения коэффициента готовности уточнялась при замерах КПД модернизированных насосов. Модернизация насосов позволила достигнуть более высокий КПД (на 3–4 %) и увеличения срока службы, что сократило на КМК затраты на ремонт на 18–26 %.

Ключевые слова: насосная станция, магистральный канал, управление водоподачей, насосные агрегаты, проточная часть насосов, технические характеристики, кавитационно-абразивный износ

Для цитирования: Разработки нового насосного оборудования для мелиоративно-водохозяйственных комплексов / Ф. Ж. Носиров, И. У. Курбанов, О. Я. Гловацкий, Р. К. Дусматов, Г. С. Азизова // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2025. Т. 95, № 1. С. 358–375.



DESIGN, CONSTRUCTION AND OPERATION OF RECLAMATION SYSTEMS

Original article

Development of new pumping equipment for reclamation and water management complexes

**Fakhriddin Zh. Nosirov¹, Ilham U. Kurbanov², Oleg Ya. Glovatsky³,
Ravshan K. Dusmatov⁴, Gulnoza S. Azizova⁵**

^{1, 4, 5}Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

^{2, 3}Research Institute of Irrigation and Water Problems, Karasu-4/11, Tashkent, Uzbekistan

¹nosirov-0173@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3295-8187>

²ilxom-kubonov@umail.uz, <https://orcid.org/0009-0001-6834-8308>

³n_naira1982@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8309-7893>

⁴dusmatov41@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-6572-8359>

⁵a.gulnozaa1987@gmail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9992-1752>

Abstract. Purpose: to develop new designs of pumping equipment with the elimination of the causes of wear and failure of the working parts of vane pumps. The new calculations of the dynamics of change in the availability coefficient, the failure rate and recovery in a given time interval of the impeller with improved flow part and pump parts are proposed. **Materials and methods.** standard methods of mathematical and hydraulic modeling were applied, their numerical solution with clarification of the calculation method of technological processes in pumps by changing the number of impeller blades, the angles of flow inlet and outlet. **Results.** The need of solving the problem of water supply control at pumping stations in reclamation and water management complexes using methods that allow taking into account the dynamic characteristics of processes during pump operation is substantiated. Pump performance depends on the shape of the impeller blade cross-section, their angle of inclination and quantity. **Conclusions.** The design of new elements based on the calculation of a flow limited only by the side walls is proposed. The units were developed based on the results of a large number of pump tests and operational surveys of irrigation pumping stations conducted by the authors. The determination of the economically feasible duration of the operating period of pumping units, taking into account changes in the pump condition and the dynamics of changes in the availability coefficient, was clarified by measuring the efficiency of the modernized pumps. The modernization of the pumps made it possible to achieve higher efficiency by 3–4 % and an increase in service life, which reduced repair costs at KMK by 18–26 %.

Keywords: pumping station, main canal, water supply control, pumping units, pump wet end, technical characteristics, cavitation-abrasive wear

For citation: Nosirov F. Zh., Kurbanov I. U., Glovatsky O. Ya., Dusmatov R. K., Azizova G. S. Development of new pumping equipment for reclamation and water management complexes. *Ways of Increasing the Efficiency of Irrigated Agriculture*. 2025;95(1):358–375. (In Russ.).

Введение. Одной из актуальных проблем XXI века является проблема экономии водных и энергетических ресурсов. В связи с этим в развитых и развивающихся странах необходимо создание нового и модернизация имеющегося насосного оборудования для мелиоративно-водохозяйственных

комплексов, разработка инновационных энергосберегающих технологий производства и эксплуатации насосов [1, 2].

В Республике Узбекистан сосредоточено более половины насосных мощностей всего центрально-азиатского региона, эксплуатируется 44 крупных насосных станций (НС), более 1400 средних и 30 тысяч мелких НС и установок.

В Узбекистане эксплуатируется крупнейший в СНГ каскад НС Каршинского магистрального канала (КМК) с крупнейшими в мире по подаче воды насосами [3, 4]. В Сурхандарьинской области работает Шерабадская НС, где насосы поднимают воду на рекордную для осевых насосов высоту (до 30 м). Впервые были освоены капсульные электронасосы, работающие в Каршинской и Джизакской степях. Строительство и ввод в действие крупных машинных каналов с уникальными каскадами насосных станций с расходами до $200 \text{ м}^3/\text{с}$ и сложными гидротехническими сооружениями позволили перебросить сток многоводных рек на крупные орошаемые массивы, расположенные в низовьях маловодных рек.

Фермеры в Южной и Юго-Восточной Азии используют насосы для круглогодичного контроля воды на фермах, чтобы интенсифицировать и диверсифицировать свою систему ведения сельского хозяйства. Насосы внесли большой вклад в сельское хозяйство и используются для всех видов работ, где требуется поднять уровень поверхностных вод на 1–3 м для орошения и дренажа [5, 6].

Главной задачей является определение причин выхода из строя насосного оборудования и совершенствование выбора рационального режима с учетом минимального износа рабочих органов лопастных насосов. Авторы предлагают разработку новых расчетов рабочего колеса (РК) насоса с усовершенствованными проточной частью и деталями насосов [7, 8].

Чтобы сохранить преимущества нового насоса, он должен быть легким, компактным и надежно обеспечивать большой объем потока при низ-

ком давлении в широком диапазоне условий эксплуатации. Одна из инновационных конструкций таких насосов – коническое полое РК [9, 10].

Материалы и методы. В процессе исследований были использованы: сбор существующей информации, общепринятые стандартные методы математического и гидравлического моделирования, их численное решение, в том числе методики расчета процессов в насосах за счет изменения количества лопастей РК, углов ввода и вывода. Основные методы и положения водоучета находятся в современных изданиях для производства эксплуатационных работ [11, 12]. Метод кинетического осреднения, используемый в проточной части насосов, соответствует методу стабилизации средних по сечению скоростей. Лабораторные испытания по теории лопастных насосов, программные исследования, графоаналитический анализ включают размерный анализ. При наличии правильных критериев использован относительный метод, не зависящий от единиц измерения, что приводит к идентичным результатам.

Результаты и обсуждение. В современных исследованиях указывается, что каналы относятся к инерционным объектам, процессы в них отличаются стохастическим характером протекания [13].

При исследованиях НС КМК было выявлено поступление большого количества донных наносов в связи с фронтальным подходом потока к голове канала, что не только усложняет водозабор в канал, но и влияет на условия эксплуатации насосов. В канале имеется расширенный и углубленный участок (карман) от ПК1 до ПК27. Этот карман является основой наносохранилища, то есть донные наносы и все крупные частицы оседают в этой зоне и очищаются земснарядами (рисунок 1).

Предлагаемый вариант очистки заиления позволяет использовать более эффективно этот карман.

Донные наносы на минусовых пикетах потоком воздуха или давле-

нием воды, подаваемые насосом или компрессором, используя скорость течения воды, перегоняется в карман [4].



**Рисунок 1 – Очистка углубленного участка канала земснарядами
(автор фото О. Я. Гловацкий)**

**Figure 1 – Cleaning a deepened section of the canal with dredgers
(photo by O. Ya. Glovatsky)**

В головной части подводящего канала на минусовых пикетах со скальным основанием при работе земснарядов часто происходит поломка рабочих колес (РК) насосов земснаряда от попадания камней и гидроабразивный износ (рисунок 2).



a – работа земснаряда марки ЗРСГ-2Г с габаритами $22,5 \times 6,15 \times 4,9$ м;
b – агрегат земснаряда

a – operation of the ZRSG-2G dredger with dimensions of $22.5 \times 6.15 \times 4.9$ m;
b – dredger unit

**Рисунок 2 – Работа земснаряда на Каршинском канале
(автор фото О. Я. Гловацкий)**

**Figure 2 – Operation of the dredger on the Karshi Canal
(photo by O. Ya. Glovatsky)**

При очистке насос находится в n состояниях и периодах времени начала и конца $t_i = t_{K_i} - t_{H_i}$. Оценка состояния насоса зависит от времени и динамики изменения коэффициента готовности $[t_{H_i}, t_{K_i}]$. Время эксплуатации:

$$T = \sum_{i=1}^n (t_{K_i} - t_{H_i}). \quad (1)$$

Для оценки коэффициента готовности на каждом интервале времени используется дифференциальное уравнение:

$$\pi_i(t) + (\lambda_i + \mu_i)\pi_i(t) = \mu_i, \quad (2)$$

где $\pi_i(t)$ – коэффициент готовности на интервале $[t_{H_i}, t_{K_i}]$;

λ_i и μ_i – интенсивности отказа и восстановления в данном интервале.

Решение дифференциального уравнения (2) имеет вид:

$$\pi_i(t) = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} + C e^{-(\lambda_i + \mu_i)t_i}, \quad (3)$$

где C – коэффициент восстановления (безразмерный).

Для нахождения значения C используются начальные условия:

$$\pi_i(t_{H_i}) = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} + C e^{-(\lambda_i + \mu_i)t_{H_i}}, \quad (4)$$

$$C = \frac{\pi_i(t_{H_i})(\lambda_i + \mu_i) - \mu_i}{\lambda_i + \mu_i} e^{(\lambda_i + \mu_i)t_{H_i}}. \quad (5)$$

Подставляя (4) в (2), получим решение дифференциальных уравнений:

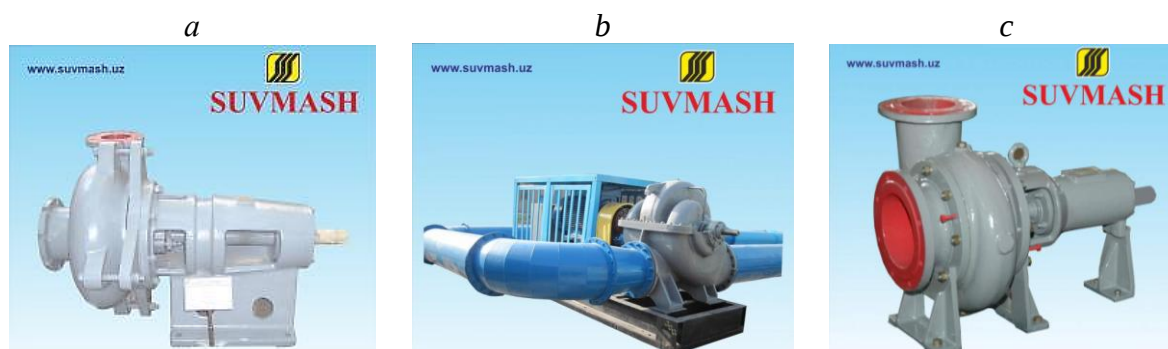
$$\pi_i(t) = \frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} + \frac{\pi_i(t_{H_i})(\lambda_i + \mu_i) - \mu_i}{\lambda_i + \mu_i} e^{(\lambda_i + \mu_i)(t_{H_i} - t_i)}. \quad (6)$$

При участии авторов созданы грунтовые и консольные насосы, имеющие конструктивные особенности, представленные в таблице 1 и рисунке 3.

Таблица 1 – Технические характеристики новых насосов

Table 1 – Technical characteristics of new pumps

Типоразмер насоса	Номинальный режим						
	Подача		Напор	Частота вращения	Мощность	КПД	Доп.кавит. запас $\Delta h_{\text{доп}}$
	м ³ /ч	л/с	м	мин ⁻¹	кВт	%	м
ГрУ 400/20	400	111	20	965	34	64	4,5
K200-150-268	290	80	18	1450	30	87	5,9



a – грунтовые насосы ГрУ 400/20; *b* – насосные станции АД2000-21;

c – консольные насосы K200-150-268

a – ground pumps GrU 400/20; *b* – pumping stations AD2000-21;

c – console pumps K200-150-268

Рисунок 3 – Модернизация грунтовых и консольных насосов на Каршинском канале (конструкции АО «SUVMASH»)

Figure 3 – Modernization of ground and console pumps on the Karshi Canal (designs of JSC “SUVMASH”)

Насос 1ГрТ 4000/71-В имеет герметичную проточную часть, за счет устранения перетоков перекачиваемой жидкости обеспечивает более высокий КПД и увеличивает срок службы корпуса. Для насосов Гр1600/50М достигнуто уменьшение массы насоса (4150 кг / 3750 кг), при увеличении толщины корпуса, бронедисков, ресурса проточной части.

В результате совершенствования проточной части насосов установлено, что насосы выходят из строя из-за кавитации, абразивной эрозии, дисбаланса рабочих органов насосов [14, 15].

Выявлены причины кавитационного процесса, возникающего в РК из-за конструктивных дефектов, а также вибрации под большими нагруз-

ками. Для оценки возможности возникновения кавитации в потоке используется коэффициент кавитации σ , получаемый из уравнения Бернулли:

$$\frac{2}{\rho g^2}(p_1 - p_{min}) - \frac{2g}{g^2} A_c, \quad (7)$$

где ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – скорость течения жидкости, м/с;

p_1 – давление в жидкости, Па;

p_{min} – минимальное давление, соответствующее началу кавитации, Па;

g – ускорение свободного падения (приблизительно 9,8 м/с²);

A_c – работа потока против сил сопротивления на 1 кг воды, Па/кг.

При начале кавитации должно соблюдаться условие:

$$\frac{g_{max}^2}{g_1^2} - 1 = \sigma_H, \quad (8)$$

где g_{max} – максимальная скорость потока, м/с;

g_1 – скорость потока при удалении от кавитирующего участка, м/с;

σ_H – коэффициент кавитации (безразмерный).

В этом случае коэффициент кавитации:

$$\sigma_H = \frac{2}{g_1^2} [(p_1 - p_{min})\rho^{-1} - gA_c]. \quad (9)$$

Выражение для коэффициента кавитации, не учитывая стадии ее развития, имеет вид:

$$\sigma_H = \frac{2(p_1 - p_{min})}{\rho g_1^2}. \quad (10)$$

Коэффициент кавитации σ_H на основании уравнений (9) и (10) учитывается как минимальное значение начала кавитации. Процесс кавитации в потоке, особенно при нестационарной кавитации, сопровождается многими существенными эффектами. Прежде всего, поток воды становится

двухфазным с соответствующим изменением его свойств, что отражается на параметрах насоса.

При кавитации снижается КПД насоса, который пропорционален коэффициенту кавитации σ_H :

$$\eta = \frac{\sigma_H 2gH}{v_2^2} \aleph, \quad (11)$$

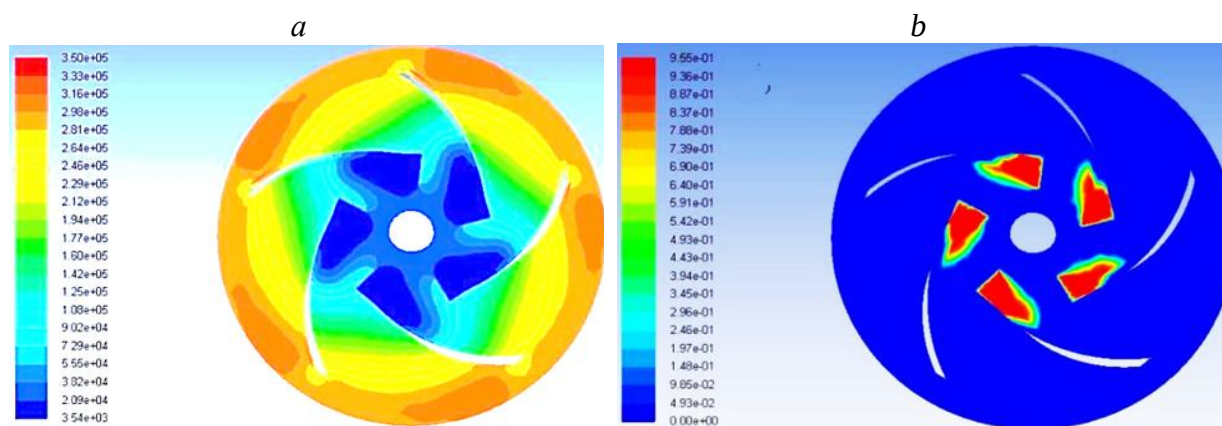
где η – КПД;

H – напор, м;

$\aleph$ – коэффициент сопротивления.

Кавитация препятствует увеличению числа оборотов роторов и увеличению передаваемых мощностей, вызывает вибрацию деталей, снижает несущую способность подшипников насосов. Однако наибольший вред кавитация наносит посредством ее изнашивающего эффекта.

С целью снижения износа и вибрации проведена доработка проточной части насоса в соответствии с программными расчетами. Выявлены точки высокого давления во входной и выходной зонах РК (рисунок 4).



a – зоны высокого давления на выходе; b – на входе

a – high pressure zones at the outlet; b – at the inlet

Рисунок 4 – Точки высокого давления во входной и выходной зонах
Figure 4 – High pressure points in the inlet and outlet zones

Гидравлический расчет проточной части насосов и анализ формул для определения их основных параметров показывают, что образование

двухфазных токов приводит к нарушению режима работы насосов. Одной из характерных особенностей двухфазных течений является пульсация давления в насосе и трубопроводах. В результате пульсации нарушается нормальный режим работы насосного устройства. Для двухфазных течений имеются следующие зависимости:

$$Q = \sqrt{\frac{2d\omega^2}{\lambda_{см}\rho} \left(\frac{P_1 - P_2}{L} + \rho qi - \frac{s\pi d}{\omega} \tau_0 \right)}, \quad (12)$$

$$\rho = (1-s)\rho_1 + s\rho_2, \quad (13)$$

$$g = \frac{(1-s)\rho_1 g_1 + s\rho_2 g_2}{(1-s)\rho_1 + s\rho_2}, \quad (14)$$

где Q – расход гидросмеси, м³/с;

d – диаметр трубы, м;

ω – площадь поперечного сечения потока, м²;

$\lambda_{см}$ – коэффициент гидравлического трения смеси, Па;

P_1, P_2 – давление в жидкости на границах участка, Па;

L – длина участка, м;

i – градиент потока, кг/м⁴;

s – объемная концентрация твердого компонента, %;

τ_0 – начальное сопротивление смеси, определяемое как модуль сдвига частиц, МПа;

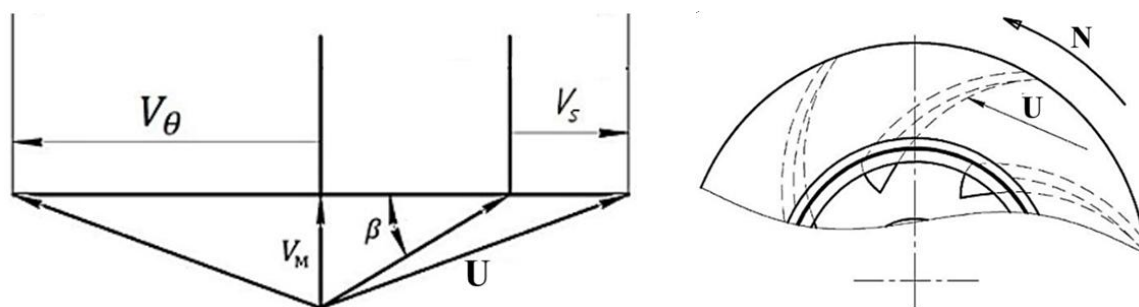
ρ_1, ρ_2 – плотность жидких и твердых частиц соответственно, кг/м³;

g_1, g_2 – средние скорости жидких и твердых частиц по сечению насоса, м/с;

g – скорость потока, м/с.

В ходе расчетов по углам входа и выхода лопаток, радиусам и ширине лопаток выбрано РК с оптимальными сечениями лопаток.

Скорость на РК показана на рисунке 5.



V_θ – скорость на РК; V_M – меридиональная скорость; β – выходной угол лопасти;
 V_s – скорость скольжения; U – выходная скорость; N – скорость вращения РК

V_θ – velocity at the rotor blade; V_M – meridional velocity; β – axle blade angle;

V_s – slip velocity; U – outlet velocity; N – rotor blade rotation velocity

Рисунок 5 – Треугольники скоростей на выходе из рабочего колеса, которое наклонено назад и повернуто против направления потока

Figure 5 – Rotor blade outlet velocity triangle, reclined backwards and turned against the flow direction

$$V_\theta = U - \frac{V_M}{\tan \beta} - V_s. \quad (15)$$

В приведенном выражении меридиональная скорость жидкости, выходящей из РК, равна – V_M , выходной угол лопасти – β , выходная скорость – U , скорость скольжения – V_s . Непрерывность потока оценена со значением меридиональной скорости V_M :

$$V_M = \frac{Q}{A}, \quad (16)$$

$$A = 2\pi Rq - zqb, \quad (17)$$

где Q – расход воды через рабочее колесо, м³/с;

A – площадь выходного отверстия, доступная для потока, мм²;

R – радиус рабочего колеса, мм;

q – количество параллельных потоков, шт.;

z – количество лопастей, шт.;

b – ширина узкого сечения лопаток, мм.

Выражение (17) представляет собой Q – расход воды через РК и площадь выхода – A , доступную для потока.

Экспериментальное определение этих параметров позволяет обеспечить энергоэффективную конструкцию ирригационных насосов [10, 16]. Чтобы правильно описать и оценить работу насоса, проводится размерный анализ. Это позволяет изучить все доступные геометрии насосов, их производительность и предложить дополнительную эмпирическую зависимость между удельной скоростью и конкретным диаметром насосов, которая называется диаграммой Кордье [17].

Безразмерные числа следующие:

коэффициент расхода
$$\Pi_Q = \frac{Q}{ND^2}, \quad (18)$$

коэффициент напора
$$\Pi_H = \frac{qH}{N^2 D^2}, \quad (19)$$

коэффициент энергии
$$\Pi_P = \frac{P}{\rho N^2 D^5}, \quad (20)$$

где Q – объемный расход, м³/с;

N – частота вращения вала ротора, об/мин;

D – диаметр лопасти ротора, мм;

H – напор, м;

P – мощность на валу, кВт.

Удельная скорость (N_s) и удельный диаметр (D_s) представляют собой безразмерные параметры производительности насоса, полученные из уравнений, включающих скорость вала, диаметр РК, расход и дифференциальный напор в точке наилучшего КПД насоса. Зависимость между удельной скоростью и удельным диаметром насосов также описывается диаграммой Кордье [17].

Эти параметры, записываются:

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{qH^{3/4}} = \frac{\Pi_Q^{1/2}}{\Pi_H^{3/4}}, \quad (21)$$

$$D_s = \frac{D(qH)^{1/2}}{\sqrt{Q}} = \frac{\Pi_H^{1/4}}{\Pi_Q^{1/2}}, \quad (22)$$

$$\eta = \frac{\rho Q(qH)}{P} = \frac{\Pi_Q \Pi_H}{\Pi_P}. \quad (23)$$

Для целей данной работы конструкция таких РК разделена на три классификации: улучшенное осевое, типичное колесо и коническое полое колесо от Sanghirun & Asvapoositkul и О. Я. Гловацкого и Ж. Рашидова [16, 18].

На стендах исследовались РК пропеллерного типа диаметром 230 мм, 5 лопастями, углами входа и выхода при среднем диаметре $1,93^\circ$ и $55,05^\circ$ соответственно. Типичные РК диаметром 240 и 248 мм с 6 лопастями. Входные углы при среднем диаметре варьируются от 45° до 60° , а выходные углы при среднем диаметре – от 45° до 50° .

Эти модели соответствуют РК насосов основного и вспомогательного оборудования, установленных на НС КМК при исследованиях повышения их энергоэффективности инновационными методами [19, 20].

Выводы

1 Разработан способ активного управления водоподачей, в основу которого положены методы расчета гидравлических процессов режимов работы агрегатов. Выявлены причины кавитационного процесса, возникающего в РК из-за конструктивных дефектов, а также вибрации под большими нагрузками. Для оценки возможности возникновения кавитации в потоке используется коэффициент кавитации.

2 Получены расчетным способом коэффициенты оперативной готовности грунтовых насосов для каждого интервала времени и динамики его изменения с использованием решений дифференциальных уравнений. Аналогично по данной методике можно проводить многоэтапное обследование оценки технического состояния насосных агрегатов, в том числе их надежности.

3 В новой проточной части насоса уточнены углы входа и выхода РК, увеличены КПД и высота подъема воды, значительно снижены уровень вибрации и шум при работе нового насоса. Создание ресурсосберегающих методов эксплуатации, ослабляющих или даже исключаящих интенсивность кавитационно-абразивного износа, в том числе основанные на учете изменения скоростей потока в межлопастных каналах РК, позволит повысить износостойкость насосов.

Модернизация грунтовых насосов позволила достигнуть более высокий КПД на 3–4 % и увеличения срока службы, что сократило на КМК затраты на ремонт на 18–26 %.

Список источников

1. Механизмы совершенствования институциональных структур водного сектора стран Центральной Азии / А. Н. Крутов, Д. Р. Базаров, Х. А. Нишанбаев, М. Р. Хуразбаев, И. Д. Райимова, Ш. Р. Бобокандов // Web of Scholar. 2018. Т. 1, № 1(19). С. 37–44. EDN: YMVBZU.
2. Коржов В. И., Сорокина О. В. Анализ влияния новых средств и способов полива на процессы управления // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2018. № 4(32). С. 105–125. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?p=567&id=574> (дата обращения: 20.01.2025). DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-105-125. EDN: VNCQKW.
3. Khokhlov A. V., Khokhlov V. A., Titova Zh. O. Modes of operation of pumping stations of the Karshi cascade. Tashkent: “Navruz”, 2015. 217 p.
4. Results of field tests of the pumping station of the Karshi main canal / O. Glovatskii, A. Yangiev, N. Nasyrova, A. Gazaryan, D. Adjimuratov, Sh. Azizov // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2612. Release 1. Article number 050024. <https://doi.org/10.1063/5.0113299>.
5. Shah T., Namara R., Rajan A. Accelerating irrigation expansion in Sub-Saharan Africa: Policy Lessons from the Global Revolution in Farmer-Led Smallholder Irrigation // International Water Management Institute (IWMI). 2020. DOI: 10.1596/35804.
6. Made in Bangladesh: Scale-appropriate machinery for agricultural resource conservation / T. J. Krupnik, V. S. Santos, A. J. McDonald, S. E. Justice, I. Hossain, M. K. Gathala // International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Mexico, 2013. P. 66–78.
7. Study of flow phase changes in pumping stations / J. Rashidov, N. Nasyrova, A. Ghazaryan, Sh. Rakhimov // Traditional Republic scientific – practical conference of young scientists, master students and talented students under the topic “The modern problems of agriculture and water resources”. Tashkent, 2024. P. 473–477.
8. Yu S., Colton J. S. Mixed-flow irrigation pump design optimization for Bangladesh // in The 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vancouver, Canada, Aug. 21–25. 2017, vol. 1, P. 071–080.
9. Dixon S. L., Hall C. Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery. 7th ed. Butterworth-Heinemann, 2014. 537 p. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05059-7>.

10. Sanghirun W., Asvapoositkul W. On the flow visualization for assessment in the analysis and design of a conical hollow shaped impeller // The 14th Asian Symposium on Visualization. Beijing, China, 22–26 may 2017.

11. Щедрин В. Н., Васильев С. М., Слабунов В. В. Основные правила и положения эксплуатации мелиоративных систем и сооружений, проведения водоучета и производства эксплуатационных работ. В 2 ч. Ч. 1. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2013. 395 с. EDN: TTOLVF.

12. Иваненко Ю. Г., Ткачев А. А., Иваненко А. Ю. Расчет параметров неустановившегося течения водных потоков в магистральном канале для способа активного управления водораспределением // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2014. № 2(14). С. 138–149. URL: https://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec720-field12.pdf. EDN: SFHEQJ.

13. Бочкарёв В. Я., Бочкарёв Я. В. Автоматизация водораспределения на каналах оросительных систем равнинной зоны методом непосредственного отбора расходов // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2013. № 1(09). С. 32–41. URL: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec157-field6.pdf. EDN: PVWYKR.

14. Elements of technical water supply system of pumping units / R. Ergashev, Ja. Rashidov, Sh. Musaev [et al.] // E3S Web of Conferences: V International Scientific Conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO – 2023), Tashkent, 26–28 april 2023 g. Tashkent: EcoSciences, 2023. Article number 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202340101015. EDN: HDQVZT.

15. Rashidov J., Kholbutaev B. Water distribution on machine canals trace cascade of pumping stations // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Kari Niyozov street, 39-house, Tashkent City, 23–25 april 2020 g. Kari Niyozov street, 39-house, Tashkent City, 2020. Article number 012066. DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012066. EDN: AEUTRT.

16. Sanghirun W., Asvapoositkul W. Comparative design and performance of surface water irrigation pumps for smallholder farmers in South and Southeast Asia // Journal of Mechanical Engineering and Sciences. 2022. No 16(3):9025–9032. DOI: 10.15282/jmes.16.3.2022.05.0714.

17. Epple P., Delgado A., Durst F. A theoretical derivation of the Cordier diagram for turbomachines // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2011. Vol. 225, no. 2. P. 354–368. DOI 10.1243/09544062JMES2285. EDN: OESEJP.

18. Establishment of resource-saving modes of irrigation pumps / O. Glovatskiy, R. Ergashev, U. Sadiev [et al.] // E3S Web of Conferences: XXVI International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2023), Tashkent, 26–28 april 2023 g. Vol. 410. EDP Sciences, 2023. Article number 05017. DOI 10.1051/e3sconf/202341005017. EDN: MFNLMO.

19. Инновационные методы повышения энергоэффективности насосной установки / Ф. Носиров, О. Гловацкий, Р. Дусматов, Г. Азизова // Проблемы энерго- и ресурсосбережения. 2024. № 86. С. 158–164.

20. Practice of permanent presence and equipment of the Karshi main canal / O. Glovatskiy, R. Ergashev, I. Kurbonov, B. Kholbutaev, I. Pirnazarov, A. Rajabov // V International Scientific Conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Management” (CONMECHYDRO – 2023). 2023. Vol. 401. Article number 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101022>.

21. Dumatov R. Calculation and Analysis of the Thermal State of the Frequency-Controlled Induction Motor Pump Unit // Proceedings of International Conference on Applied Innovation in IT (ICAIIIT). 2023. No. 11(1), P. 297–301. URL: https://icaiiit.org/proceedings/11th_ICAIIIT_1/5_5%20ICAIIIT_2023_paper_9905.pdf.

References

1. Krutov A.N., Bazarov D.R., Raimova I.D., Nishanbaev H.A., [et al.], 2018. *Mekhanizm sovershenstvovaniya institutsional'nykh struktur vodnogo sektora stran Tsentral'noy Azii* [Mechanism for improving institutional structures of the water sector of Central Asian countries]. Web of Scholar, vol. 1, no. 1 (19), pp. 37-44, EDN: YMVBZU. (In Russian).
2. Korzhov V.I., Sorokina O.V., 2018. *Analiz vliyaniya novykh sredstv i sposobov poliva na protsessy upravleniya* [Analysis of influence of new irrigation facilities and methods on water distribution operation processes]. Analysis of influence of new irrigation tools and methods on management processes]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], no. 4 (32), pp. 105–125. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/archive?n=567&id=574>. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-4-105-125, EDN: VNCQKW. (In Russian).
3. Khokhlov A.V., Khokhlov V.A., Titova Zh.O., 2015. Modes of operation of pumping stations of the Karshi cascade. Tashkent. “Navruz” Publ., 217 p.
4. Glovatskii O., Yangiev A., Nasyrova N., Gazaryan A., Adjimuratov D., Azizov Sh., 2023. Results of field tests of the pumping station of the Karshi main canal. AIP Conference Proceed, vol. 2612. Release 1. Article number 050024. <https://doi.org/10.1063/5.0113299>.
5. Shah T., Namara R., Rajan A., 2020. Accelerating irrigation expansion in Sub-Saharan Africa: Policy Lessons from the Global Revolution in Farmer-Led Smallholder Irrigation. International Water Management Institute (IWMI), DOI: 10.1596/35804.
6. Krupnik T.J., Santos Valle S., McDonald A.J., Justice S.E., Hossain I., Gathala M.K., 2013. Made in Bangladesh: Scale-appropriate machinery for agricultural resource conservation. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). Mexico, pp. 66-78.
7. Rashidov J., Nasyrova N., Ghazaryan A., Rakhimov Sh., 2024. Study of flow phase changes in pumping stations. Traditional Republic scientific – practical conference of young scientists, master students and talented students under the topic "The modern problems of agriculture and water resources". Tashkent, pp. 473-477.
8. Yu S., Colton J.S., 2017. “Mixed-flow irrigation pump design optimization for Bangladesh”. The 21st International Conference on Engineering Design (ICED 17) Vancouver, Canada, Aug. 21–25, vol. 1, pp. 071-080.
9. Dixon S.L., Hall C., 2014. Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery. 7th ed. Butterworth-Heinemann, 537 p. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05059-7>.
10. Sanghirun W., Asvapoositkul W., 2017. On the flow visualization for assessment in the analysis and design of a conical hollow shaped impeller. The 14th Asian Symposium on Visualization. Beijing, China, May 22-26.
11. Shchedrin, V.N., Vasiliev S.M., Slabunov V.V., 2013. *Osnovnye pravila i polozheniya ekspluatatsii meliorativnykh sistem i sooruzheniy, provedeniya vodoucheta i proizvodstva ekspluatatsionnykh rabot: V dvukh chastyakh* [Basic rules and regulations of operation of reclamation systems and structures, maintaining water recording and production of operational works: In two parts]. Part 1. Novochoerkassk, Russian Scientific Research Institute for Land Reclamation Problems, 395 p., EDN: TTOLVF. (In Russian).
12. Ivanenko Yu.G., Tkachev A., Ivanenko A.Yu., 2014. *Raschet parametrov neustanovivshegosya techeniya vodnykh potokov v magistral'nom kanale dlya sposoba aktivnogo upravleniya vodoraspredeleniya* [Calculating parameters of unsteady water flow in main canal for the method of active control of water distribution]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute for Land Reclamation Problems], no. 2 (14), pp. 138-149. available: https://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec720-field12.pdf, EDN: SFHEQJ. (In Russian).
13. Bochkarev V.Ya., Bochkarev Ya.V., 2013. *Avtomatizatsiya vodoraspredeleniya na kanalakh orositel'nykh sistem ravninnoy zony metodom neposredstvennogo otbora raskhodov*

[Automation of water distribution on canals of irrigation systems of a flat zone by method of direct selection of expenses]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* [Scientific Journal of the Russian Scientific Research Institute for Land Reclamation Problems], no. 1 (09), pp. 32-41, available: http://rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb13-rec157-field6.pdf. EDN: PVWYKR. (In Russian).

14. Ergashev R., Rashidov Ja., Musaev Sh., [et al.], 2023. Elements of technical water supply system of pumping units. E3S Web of Conferences: V International Scientific Conference “Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering” (CONMECHYDRO – 2023), Tashkent, 26–28 April 2023, Tashkent, EcoSciences, Article number 01015. DOI: 10.1051/e3sconf/202340101015. EDN: HDQVZT.

15. Rashidov J., Kholbutaev B., 2020. Water distribution on machine canals trace cascade of pumping stations. IOP Conference Series: Proceed. Science and Engineering, Kari Niyozov street, 39, Tashkent City, 23-25 April 2020. Article number 012066, DOI: 10.1088/1757-899X/883/1/012066. EDN: AEUTRT.

16. Sanghirun W., Asvapoositkul W., 2022. Comparative design and performance of surface water irrigation pumps for smallholder farmers in South and Southeast Asiamm. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, no 16(3):9025–9032, DOI: 10.15282/jmes.16.3.2022.05.0714.

17. Eppl P., Delgado A., Durst F., 2011. A theoretical derivation of the Cordier diagram for turbomachines. *Proceed. of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. vol. 225, no. 2, pp. 354-368, DOI 10.1243/09544062JMES2285, EDN: OESEJP.

18. Glovatskiy O., Ergashev R., Sadiev U., [et al.] 2023. Establishment of resource-saving modes of irrigation pumps. E3S Web of Conferences: XXVI International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2023), Tashkent, 26-28 April, vol. 410, EDP Sciences. Article number 05017, DOI 10.1051/e3sconf/202341005017, EDN: MFNLMO.

19. Nosirov F., Glovatsky O., Dusmatov R., Azizova G., 2024. *Innovatsionnye metody povysheniya energoeffektivnosti nasosnoy ustanovki* [Innovative methods for improving the energy efficiency of a pumping unit]. *Problemy energo- i resursosberezheniya* [Problems of Energy and Resource Saving], no. 86, pp. 158-164. (In Russian).

20. Glovatskiy O., Ergashev R., Kurbonov I., Kholbutaev B., Pirmazarov I., Rajabov A., 2023. Practice of permanent presence and equipment of the Karshi main canal. V International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Management" (CONMECHYDRO – 2023), vol. 401, Article number 01022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340101022>.

21. Dusmatov R., 2023. Calculation and analysis of the thermal state of the frequency-controlled induction motor pump unit. *Proceed. of International Conference on Applied Innovation in IT (ICAIIIT)*, March, no. 11(1), pp. 297-301, available: https://icaait.org/proceedings/11th_ICAIIIT_1/5_5%20ICAIIIT_2023_paper_9905.pdf.

Информация об авторах

Ф. Ж. Носиров – начальник отдела базы данных офиса регистратора, доктор технических наук, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, nosirov-0173@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3295-8187;

И. У. Курбанов – старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Карасу-4/11, Ташкент, Узбекистан, ilxom-kubonov@umail.uz, ORCID ID: 0009-0001-6834-8308;

О. Я. Гловацкий – заведующий лабораторией, доктор технических наук, профессор, Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем, Карасу-4/11, Ташкент, Узбекистан, n_naira1982@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-8309-7893;

Р. К. Дусматов – начальник офиса регистратора, доктор философии по техническим наукам (PhD), доцент, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, dusmatov41@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-6572-8359;

Г. С. Азизова – заместитель начальника отдела базы данных офиса регистратора, Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова, Ташкент, Узбекистан, a.gulnozaa1987@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9992-1752.

Information about the authors

F. Zh. Nosirov – Head of the Database Department of the Registrar's Office, Doctor of Technical Sciences, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan, nosirov-0173@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-3295-8187;

I. U. Kurbanov – Senior Researcher, Research Institute of Irrigation and Water Problems, Karasu-4/11, Tashkent, Uzbekistan, ilxom-kubonov@umail.uz, ORCID ID: 0009-0001-6834-8308;

O. Ya. Glovatsky – Head of the Laboratory, Professor, Doctor of Engineering Sciences, Research Institute of Irrigation and Water Problems, Karasu-4/11, Tashkent, Uzbekistan, n_naira1982@mail.ru, ORCID ID: 0009-0001-8309-7893

R. K. Dusmatov – Head of the Registrar's Office, Doctor of Philosophy of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan, dusmatov41@gmail.com, ORCID ID: 0009-0000-6572-8359;

G. S. Azizova – Deputy Head of the Database Department of the Registrar's Office, Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan, a.gulnozaa1987@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-9992-1752.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

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

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 31.01.2025; одобрена после рецензирования 28.03.2025; принята к публикации 14.04.2025.

The article was submitted 31.01.2025; approved after reviewing 28.03.2025; accepted for publication 14.04.2025.