

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКИХ ОСНОВ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА НЕОБХОДИМЫХ ТИПОРАЗМЕРОВ ПАКЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ С ЭЖЕКТОРОМ К ПОГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОНАСОСАМ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИИ БЕСТРУБНОГО ВОДОПОДЪЕМА ИЗ СКВАЖИН

Ильясова Н. Х.¹, Жакупова Ж. З.², Саркынов Е. С.³, Мешик О. П.⁴

¹ докторант кафедры «Водные ресурсы и мелиорация», *НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет»*, Алматы, Казахстан, ilyasova.narkyz@kaznaru.edu.kz

² PhD, ассоциированный профессор кафедры «Водные ресурсы и мелиорация», *НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет»*, Алматы, Казахстан, zhakupova.zhanar@kaznaru.edu.kz

³ к.т.н., профессор кафедры «Аграрная техника и механическая инженерия», *НАО «Казахский национальный аграрный исследовательский университет»*, Алматы, Казахстан, yerbol.sarkynov@kaznaru.edu.kz

⁴ к.т.н., доцент, декан факультета инженерных систем и экологии, БрГТУ, Брест, Беларусь, omeshik@mail.ru

Аннотация

Приведены исследования по обоснованию методики расчёта необходимых типоразмеров пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам для технологии беструбного водоподъема из скважин, основным критерием которых для расчёта приняты исходные параметры для насосных установок: подача, напор (высота водоподъема), диаметральный габарит пакерного гидравлического устройства и потребляемая мощность насосной установки (мощность на валу погружного электронасоса).

Предложены для ресурсосберегающей технологии беструбного водоподъема из скважин обоснованные типоразмерные ряды необходимых типоразмеров пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам: по подаче насосной установки - 10; 25 и 40 м³/ч; по напору (высоте водоподъема) – 55;80;110 и 150 м (50;75;100 и 130 м); по диаметральному габариту пакерного гидравлического устройства (условному диаметру скважин) - 116; 145 и 195 мм (140; 168 и 219 мм); по потребляемой мощности насосных установок – 2; 4; 5; 6;7;11; 12,5;15,5; 21; 27 кВт, которые позволят повысить их эффективность использования в системе водоснабжения и мелиорации Казахстана.

Ключевые слова: методика расчёта, типоразмер, параметр, пакерное гидравлическое устройство, эжектор, погружной электронасос, технология беструбного водоподъема, обоснование, насосная установка, подземная вода, скважина, водоснабжение, мелиорация.

SUBSTANTIATION OF THE METHODOLOGICAL FOUNDATIONS AND DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR CALCULATING THE REQUIRED STANDARD SIZES OF PACKER HYDRAULIC DEVICES WITH AN EJECTOR TO SUBMERSIBLE ELECTRIC PUMPS FOR THE TECHNOLOGY OF TUBELESS WATER LIFTING FROM WELLS

Ilyassova N.¹, Zhakupova Zh.², Sarkynov Ye.³, Meshyk O.⁴

Abstract

Studies are presented to substantiate the methodology for calculating the required standard sizes of packer hydraulic devices for submersible electric pumps for the technology of tubeless water lifting from wells, the main criteria for which are the initial parameters for pumping units: supply, head (height of the water lift), diametrical dimension of the packer hydraulic device and the power consumption of the pumping unit (power on the shaft of the submersible electric pump).

Reasonable standard-size ranges of the required standard sizes of packer hydraulic devices for submersible electric pumps are proposed for the resource-saving technology of tubeless water lifting from wells: by pumping unit supply - 10; 25 and 40 m³/h; by pressure (height of water lifting) - 55; 80; 110 and 150 m (50; 75; 100 and 130 m); by the diametrical dimension of the packer hydraulic device (nominal diameter of wells) is 116; 145 and 195 mm (140; 168 and 219 mm); according to the power consumption of pumping units – 2; 4; 5; 6; 7; 11; 12,5; 15,5; 21; 27 kW, which will increase their efficiency in the water supply and land reclamation system of Kazakhstan.

Keywords: calculation method, standard size, parameter, packer hydraulic device, ejector, submersible electric pump, tubeless water intake technology, justification, pumping unit. groundwater, borehole, water supply, land reclamation.

Введение. В настоящее время в Казахстане в системе общего водоснабжения и мелиорации с использованием подземных вод из сооружаемых скважин с применением для водозабора погружных электронасосов идёт тенденция применения прогрессивных технологий водоподъёма, в том числе технологии беструбного водоподъёма (по обсадным трубам скважин) с использованием пакерных устройств различных конструкций, устанавливаемых на нагнетательном патрубке насоса, разделяя в скважине всасывающую часть насоса от нагнетательной, позволяющих снизить металлоёмкость в 2...3 раза и улучшить энергетические показатели насосных установок, уменьшить значительно эксплуатационные затраты на монтажно-демонтажные работы, повысить срок службы обсадных труб, исключить загрязнение воды и засорение скважин [1,2].

Однако внедрение технологии беструбного водоподъёма в водоснабжении и мелиорации сдерживается из-за отсутствия на рынке сбыта необходимых типоразмеров пакерных устройств к погружным электронасосам, в связи с недостаточностью проведённых методических исследований по данному направлению. Поэтому разработка методики расчёта необходимых типоразмеров пакерных гидравлических устройств к погружным

электронасосам для технологии беструбного водоподъема в водоснабжении и мелиорации, является актуальной проблемой.

Однако исследования по данному направлению, для системы водоснабжения и мелиорации, не проводились.

Материалы и методы. В работе использованы теоретические, методические и расчётные методы исследования.

Авторами обоснована и разработана методика расчёта по определению необходимых типоразмеров пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам для технологии беструбного водоподъема из скважин в системе водоснабжения и мелиорации.

Результаты исследований и их обсуждение. Методическим основанием обоснования необходимых типоразмеров пакерных гидравлических устройств с эжектором к погружным электронасосам для технологии беструбного водоподъема из скважин являются исходные параметры для насосных установок: подача $Q_{\text{ну}}$, напор H_p (высота водоподъема H), диаметральный габарит пакерного гидравлического устройства D_p и потребляемая мощность насосной установки $N_{\text{ну}}$ (мощность на валу погружного электронасоса) [1-5].

Типоразмеры пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам по подаче $Q_{\text{ну}}$ определяются по приведённой формуле, где основными критериями обоснования приняты - суточный расход воды $q_{\text{сут}}$ и дебит существующих скважин $Q_{\text{ск}}$:

$$Q_{\text{ну}} = Q_n \cdot K = \frac{q_{\text{сут}}}{t_{\text{см}} \cdot \eta_{\text{см}} \cdot i_n} \leq Q_{\text{ск}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ну}}$ – подача насосной установки, $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q_{\text{ну}} = Q_n \cdot K, \quad (2)$$

где Q_n – подача электропогружного насоса, $\text{м}^3/\text{ч}$;

K – увеличение подачи насосной установки при использовании пакера с эжектором (за счет эжектирования по расчету и опытным данным $K=1,2-1,3$);

$q_{\text{сут}}$ – суточное водопотребление на объекте, м^3 :

- в системе пастбищного и общего водоснабжения определяется по формуле

$$q_{\text{сут}} = \sum_{i=1}^n q_n \cdot Z \cdot \alpha, \quad (3)$$

- в системе мелиорации определяется по формуле

$$q_{\text{сут}} = \frac{q_n \cdot F}{D_{\text{ну}} \cdot i_n}, \quad (4)$$

где q_n – единичные нормы водопотребления в сутки (для животных, полива 1м^2 площади открытых парниковых, 1 га орошаемых земельных участков и т.д.), м^3 ;

Z – количество нормируемых величин (число животных, м^2 поливных участков, га орошаемых земельных площадей и т.д.);

$\alpha = 1,09 \dots 1,15$ – коэффициент, учитывающий водопотребление на собственные нужды обслуживающего персонала [6];

F – площадь орошаемых земельных участков подземными водами, га;

$D_{\text{НУ}}$ - число дней работы насосной установки между поливами, дн;
 $i_{\text{п}}$ - число поливов сельскохозяйственных культур за сезон;
 $t_{\text{см}}$ - рабочее время смены, ч;
 $\eta_{\text{см}}$ - коэффициент использования рабочего времени смены для разрабатываемой насосной установки:

$$\eta_{\text{см}} = \frac{t_{\text{чр}}}{t_{\text{чр}} + t_{\text{то}}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{чр}}$ - чистое время работы насосной установки в смену, ч;
 $t_{\text{то}}$ - время на техобслуживание насосной установки, ч;
 $Q_{\text{ск}}$ - дебит существующих скважин, м³/ч.

Типоразмеры пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам по напору $H_{\text{р}}$ (высоте водоподъёма H) определяются по приведённой формуле, где основными критериями обоснования приняты высота водоподъёма H (динамический уровень воды в скважине $H_{\text{д}}$) и потери напора в водоподающей системе $\sum_{i=1}^n h_{\omega\text{п}}$:

$$H_{\text{р}} = H + \sum_{i=1}^n h_{\omega\text{п}}, \quad (6)$$

или

$$H_{\text{р}} = H_{\text{д}} + h_{\text{р}} + \sum_{i=1}^n h_{\omega\text{п}}, \quad (7)$$

где H - высота водоподъёма, м:

$$H = H_{\text{д}} + h_{\text{р}}, \quad (8)$$

где $H_{\text{д}}$ - динамический уровень воды в скважине, м;

$h_{\text{р}}$ - высота от оголовка скважины до излива в приёмную емкость потребителя, м (эта величина постоянная и равна 1,5м);

$\sum_{i=1}^n h_{\omega\text{п}}$ - потери напора в водоподающей системе: в пакерном устройстве, в обсадных трубах скважины и в отводном трубопроводе от оголовка скважины до потребителя определяются по формуле, м:

$$\sum_{i=1}^n h_{\omega\text{п}} = \lambda_{\text{ск}} \cdot \frac{H}{D_{\text{ск}}} \cdot \frac{v_{\text{ск}}^2}{2g} + \zeta_{\text{п}} \cdot \frac{v_{\text{п}}^2}{2g} + (\lambda_{\text{тр}} \cdot \frac{l_{\text{тр}}}{d_{\text{тр}}} + \sum \zeta) \cdot \frac{v_{\text{тр}}^2}{2g}, \quad (9)$$

где $\lambda_{\text{ск}}, \lambda_{\text{тр}}$ - коэффициенты трения воды в обсадных трубах скважины и в отводном трубопроводе;

$\zeta_{\text{п}}$ - коэффициент местных сопротивлений в пакере;

$\sum \zeta$ - сумма коэффициентов местных сопротивлений в отводном трубопроводе;

$D_{\text{ск}}, d_{\text{тр}}$ - внутренние диаметры обсадных труб скважины, отводного (водоподъемного) трубопровода и нагнетательного патрубка насоса, м;

$l_{\text{тр}}$ - длина отводного трубопровода, м.

Динамический уровень обосновывается на основании научных проработок [5,7].

Типоразмеры пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам по диаметральному габариту пакерного гидравлического устройства $D_{\text{п}}$ определяются по упрощённой формуле (5), где основными критериями обоснования приняты: внутренний диаметр скважины $D_{\text{ск}}$ и зазор на диаметр δ , удовлетворяющий требованиям техники безопасности проведения спуско-подъемных операций насоса с пакером во внутрь скважины:

$$Dn = D_{СК} - \delta, \quad (10)$$

где $D_{СК}$ – внутренний диаметр скважины, мм;

δ – зазор на диаметр, удовлетворяющий требованиям техники безопасности проведения спуско-подъемных операций насоса с пакером во внутрь скважины, мм.

Типоразмеры пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам по потребляемой мощности насосной установки $N_{ну}$ определяются по упрощённой приведённой формуле, где основными критериями обоснования приняты: подача $Q_{ну}$, напор H_p КПД $\eta_{ну}$ насосной установки (пакерного гидравлического устройства при совместной работе с погружным электронасосом):

$$N_{ну} = \frac{9,81 \cdot Q_{ну} \cdot H_p}{\eta_{ну} \cdot \eta_o}, \quad (11)$$

где $N_{ну}$ – потребляемой мощности насосной установки, кВт;

9,81 – переводной коэффициент мощности из размерности Вт в размерность кВт;

$Q_{ну}$ – подача насосной установки, м³/с;

H_p – напор насосной установки по определяемому типоразмеру, м;

$\eta_{ну}$, η_o – КПД насосной установки и объёмный КПД.

Определение типоразмеров пакерных гидравлических устройств по подаче насосной установки. В начале определяли пределы подач насосной установки для беструбного водоподъема по формуле (1) с учётом использования формул (2), (3), (4) и (5), где основным критерием обоснования являлось суточное водопотребление, которое с учетом природно-хозяйственных факторов, норм полива земельных участков, норм потребности воды по виду потребителя было принято в пределах 240...960 м³/сут, в результате пределы подач насосной установки составили 10...40 м³/ч.

Принятые пределы подача насосной установки согласовывались по дебиту скважин $Q_{СК}$ в соответствии с условием (2), которые удовлетворяют на 30...15% их применения [5].

В результате которых приняты три типоразмера пакерных гидравлических устройств по подаче насосной установки, из них два по минимальному и максимальному значению предела подач и один типоразмер по среднему значению: 10; 25 и 40 м³/ч.

Определение типоразмеров пакерных гидравлических устройств по напору (высоте водоподъёма) насосной установки. Необходимые типоразмеры пакерных гидравлических устройств по напору определяли по формуле (6) с учётом формул (7), (8) и (9), критериями обоснования приняты высота водоподъёма H (динамический уровень воды в скважине H_d) и потери напора в водоподающей системе $\sum_{i=1}^n h_{\omega_{п}}$.

По научным проработкам [1,3,7] рекомендованы ряды динамических уровней для скважин $H_d=25; 50,75,100; 130$ м. По технико-экономическим показателям применение беструбной технологии водоподъема рекомендуется для динамических

уровней свыше 30-50 м, на этом основании возможные высоты водоподъема приняты до $H=100-130$ м с типоразмерным рядом $H=50,75,100$ и 130 м при вероятности применения 38; 14; 6; 2%.

В результате которых по напору (высоте водоподъема) приняты четыре типоразмера пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам для беструбной технологии водоподъема: $H_p = 55;80;110$ и 150 м ($H = 50;75;100$ и 130 м) при вероятности применения 38; 14; 6; 2%.

Определение типоразмеров пакерных гидравлических устройств по диаметральному габариту. Необходимые типоразмеры пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам по диаметральному габариту D_{Π} определяли по формуле (10), основными критериями обоснования приняты: внутренний диаметр скважины $D_{СК}$ и зазор на диаметр $b = 4-6$ мм, удовлетворяющий требованиям техники безопасности проведения спуско-подъемных операций насоса с пакером во внутрь скважины. По научным проработкам [5,7] рекомендованы три ряда внутренних диаметров скважин: 125 мм, 150 мм и 200 мм или условного диаметра обсадных труб скважин в соответствии с ГОСТ 362-80: 140; 168 и 219 мм.

В результате которых по диаметральному габариту D_{Π} приняты три типоразмера пакерных гидравлических устройств: 116; 145 и 195 мм.

По диаметральному габариту пакерных гидравлических устройств вероятность их применения может составить на 47,5...28,7% скважин.

Определение типоразмеров пакерных гидравлических устройств по потребляемой мощности насосной установки $N_{НУ}$ (мощности на валу погружного электронасоса). Необходимые типоразмеры пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам по потребляемой мощности насосной установки $N_{НУ}$ определяли по формуле (11), основными критериями обоснования приняты: подача $Q_{НУ} = 10; 25$ и 40 м³/ч, напор $H_p = 55; 80; 110$ и 150 м и КПД насосной установки $\eta_{НУ} = 0,45...0,48$.

В результате по потребляемой мощности принято 10 типоразмеров насосных установок: $N_{НУ} = 2; 4; 5; 6;7;11; 12,5;15,5; 21; 27$ кВт.

На основании которых выбрано 15 типоразмеров электропогружных насосов для беструбной технологии водоподъема из скважин, соответствующих принятым типоразмерам пакерных гидравлических устройств с эжектором [8]:

- ЭЦВ 6 -10 -50, ЭЦВ 6 -10 -80, ЭЦВ 6 -10 -120, ЭЦВ 6 -10 -140 $N_{НУ}=2,2; 4; 5,5;6,3$ кВт;
- ЭЦВ 6- 25-60, ЭЦВ 6-25-80, ЭЦВ 6-25-120 $N_{НУ} = 6;7;11$ кВт;
- ЭЦВ 8-25-55, ЭЦВ 8-25-100, ЭЦВ 8-25-125, ЭЦВ 8-25-150 $N_{НУ}=5;11;12,5;15,5$ кВт;
- ЭЦВ 8-40-60, ЭЦВ 8-40-90, ЭЦВ 8-40-120, ЭЦВ 8-40-150 $N_{НУ}=11;15,5;21;27$ кВт.

Выводы.

На основании проведенных исследований впервые обоснована и разработана методика расчёта необходимых типоразмеров пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам для технологии беструбного водоподъема из скважин, которая позволила определить для системы водоснабжения

и мелиорации три типоразмера пакерных устройств по подаче - 10; 25 и 40 м³/ч, пять - по напору (высоте водоподъема) –55;80;110 и 150 м (50;75;100 и 130 м), три - по диаметральному габариту пакерного гидравлического устройства (условному диаметру скважин) - 116; 145 и 195 мм (140; 168 и 219 мм) и десять - по потребляемой мощности насосных установок – 2; 4; 5; 6;7;11; 12,5;15,5; 21; 27 кВт, решая проблему их эффективного использования в системе водоснабжения и мелиорации Казахстана.

Список цитированных источников

1. Zhakupova Z., Yakovlev A., Yespolov T., Ghinassi G., Sarkynov Y. Experimental Study into the ProcessessRuning in Hydraulic Paker upon Pipeless Water Lifting from Wells by Means of Electrical Submersible Pump. Vol. 13 (3). 1499-1513. September 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/2293>.

2. Ilyasova N, Zhakupova Zh., Meshik O., Yakovlev A., Sarkynov Y. New trend in the improvement of technology of pipeless water lifting from wells with submersible motor pump in the water supply and irrigation in Kazakhstan // Current scientific, technical and environmental problems of habitat conservation. ICEP – 2022 : proceedings of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to the 50th anniversary of the Department of Environmental Management, Brest, October 26-28, 2022: in 2 parts / Ministry of Education of the Republic of Belarus, Brest State Technical University; Brest : BrGTU, 2022. – Part 2. – P. 113–117.

3. Жакупова Ж.З., Яковлев А.А., Саркынов Е. Теоретические предпосылки к обоснованию технологической схемы беструбного водоподъема подземных вод//Исследования, результаты: Приложение № 2.- Алматы, 2012, - С.69-75.

4. Жакупова Ж.З. Совершенствование технологии беструбного водоподъема для повышения эффективности использования подземных вод в мелиорации: Дис.магистра с-х. наук.-Алматы, 2013.-105 с.

5. Яковлев А.А. Пневмокамерные водоподъемники для пастбищного водоснабжения: Монография/ А.А. Яковлев. – Алматы: Изд. «Айтумар», 2015. – 245 с.

6. Тажибаев Л.Е. Основы водоснабжения и обводнения сельскохозяйственных районов Казахстана. -Алма-ата: Кайнар, 1969.-304 с.

7. Abdreshov, S.A., Seitassanov, I.S., Yakovlev, A.A., Zulpykharov, B.A., Zhakupova, Z.Z. Technology of water lifting from wells using an improved water jet pump installation // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2019, 9(6), страницы 1155–1166, IJMPERDDEC201995.

8. Nietalieva A.A., Espolov T.I., Yakovlev A.A., Sarkynov E.S., Zhakupova Zh.Z. Water lifting from wells using submersible electric pump and suction devices // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). ISSN: 2277-3878. Vol. 8, Issue 1, May 2019. <https://doi.org/10.35940/ijrte.2277-3878>.

УДК 681.12