

УДК626.82:622.755

Канд. техн. наук, профессор  
Канд. техн. наук, профессор  
Канд. техн. наук, профессор  
PhD доктор

Ш.А. Абдрешов<sup>1</sup>  
И.С. Сейтасанов<sup>1</sup>  
А.А. Яковлев<sup>1</sup>  
Е. Саркынов<sup>1</sup>  
Б.А. Зулпыхаров<sup>1</sup>

### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ПРОЦЕССУ ВОДОПОДЪЁМА ИЗ СКВАЖИН ГИДРОСТРУЙНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

**Ключевые слова:** теоретическое исследование, гидроструйная насосная установка, альтернативная технология водоподъёма, струйный насос с подсосом воды и атмосферного воздуха, технологический процесс, скважина, параметр.

*Научная статья направлена на проведение теоретических исследований по технологическому процессу водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установки, работающей по альтернативной технологии водоподъёма с использованием струйных насосов для подсоса воды и атмосферного воздуха в водоподъёмные трубы.*

*Приведены преимущества альтернативной технологии водоподъёма по сравнению с традиционной. Даны результаты теоретических исследований по определению основных технологических параметров: полезной и общей подачи, коэффициента эжекции, потребного напора, удельного веса поднимаемой водо-воздушной смеси, полезной и затраченной мощности, вакуумных напоров, создаваемых струйными насосами.*

**Введение.** В Казахстане, в странах СНГ и за рубежом для подъёма воды из скважин и шахтных колодцев в сельскохозяйственном водоснабжении и обводнении пастбищ до настоящего времени широко использовались водоструйные насосные установки, которые состоят из центробежного насоса, установленного на поверхности, и струйного насоса – внутри водоисточника. Преимуществом этих установок по сравнению с другими насосными установками аналогичного назначения

---

<sup>1</sup> Казахский Национальный аграрный университет, г. Алматы, Казахстан

является высокая эксплуатационная надёжность насосной части, опускаемой в водоисточник [5, 3, 6, 10].

Однако гидроструйные насосные установки имеют низкий общий КПД 0,18...0,44 из-за высокого потребного давления, необходимого для увеличения скорости движения воды через активные сопла струйных насосов, которые могут быть устранены совершенствованием технологии подъёма воды с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки. Это может быть достигнуто посредством использования струйного насоса с подсосом воды за счёт повышения коэффициента эжекции и производительности струйного насоса. Кроме того, с уменьшением расхода активной среды за счёт импульсной подачи активного потока и применением свойства закрученных напорных струй, характеризующихся эффективной взаимодействующей способностью сопутствующих потоков, выраженной интенсивной передачей энергии активного потока пассивному и вовлечению её в общий поток, повышается в целом подача насосной установки на 20...30 % по сравнению с подачей аналогов. С помощью снабжения водоподъёмного трубопровода, не погружённого под динамический уровень воды в водоисточнике, струйным насосом для подсоса атмосферного воздуха в водоподъёмные трубы, можно создать в них водо-воздушную смесь с меньшим удельным весом воды в 1,5...2 раза, снижая потребный напор насосной установки в 1,5...2 раза, при этом увеличивая КПД насосной установки в 1,1...2 раза [5, 3, 6, 10].

Теоретические исследования по технологии водоподъёма из скважин с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки не проводились. Однако практическое применение отдельно каждого процесса имело место: подсос воды использовался в струйных насосах [5, 3, 6, 10, 2], в технологии беструбного водоподъёма [11] и погружных электронасосов со всасывающими устройствами [9], в эрлифтных водоподъёмниках [8, 1], при этом использование каждого процесса имеет положительный результат и актуален в прикладных исследованиях. Предлагаемая в работе технология водоподъёма из скважин и техническое решение её реализации имеют новизну и полезное применение. В конструктивно-технологической схеме, предложенной насосной установки струйный насос для подсоса воды защищён патентом на изобретение КЗ № 33182 «Струйный насос» [4].

**Цель исследования:** Проведение теоретических исследований по определению формул для обоснования основных технологических параметров усовершенствованной гидроструйной насосной установки, работающей по альтернативной технологии водоподъёма из подземных водоисточников.

**Методика.** Теоретические исследования выполнены на основании использования закона неразрывности потока движения поднимаемой воды, водо-воздушной смеси и атмосферного воздуха в струйных насосах и водоподъёмных трубах, а также в использовании уравнения Бернулли.

**Результаты.** Для определения теоретических формул по обоснованию технологических параметров усовершенствованной гидроструйной насосной установки, разрабатывалась методика, которая заключалась в определении аналитических зависимостей между основными входными параметрами (рисунок 1) и выходными параметрами, а также параметрами струйных насосов. Входные параметры: подача центробежного насоса  $Q_n$  и создаваемый им напор  $H_p$ . Выходные параметры: полезная  $Q_{гн}$  и общая  $Q_{гну}$  подача гидроструйной насосной установки, коэффициент эжекции  $K_{э1}$  струйного насоса с подсосом воды, расход воды центробежного насоса на эжектирование  $Q_э$  струйного насоса с подсосом воды, напор  $H_{гну}$  насосной установки, удельный вес  $\gamma_{см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах, полезная  $N_n$  и затраченная  $N_{гну}$  мощность, КПД  $\eta_{гну}$ . Параметры струйных насосов: вакуумные напоры  $H_{вакi}$ , внутренние диаметры активного  $D_{cai}$  и пассивного  $D_{спi}$  сопел, скорость движения воды в активном  $v_{cai}$  и пассивном  $v_{спi}$  соплах [5, 3, 6, 9, 7].

Теоретические исследования рассмотрены для двух вариантов использования конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки: вариант 1 – для сельскохозяйственного водоснабжения с напорной подачей потребителю (в водонапорную башню); вариант 2 – для обводнения пастбищ с подачей потребителю из ёмкости (в накопительные резервуары водопойного пункта).

На основании теоретических исследований получены следующие формулы для определения технологических параметров:

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{1гн1}$  и общая подача  $Q_{1гну1}$  от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1:

$$Q_{1гн1} = \frac{K_{э1}}{1+K_{э1}} \cdot Q_n, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

$$Q_{1гн\text{у}1} = \frac{1+2K_{Э1}}{1+K_{Э1}} \cdot Q_{н}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где  $Q_{н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $K_{Э1}$  – коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды, который должен по принятой гипотезе для варианта 1 удовлетворять условию и уточняться экспериментально:

$$K_{Э1} = \frac{Q_{гн}}{Q_{э}} \leq 0,5 \quad (3)$$

где  $Q_{э}$  – расход воды центробежного насоса на эжектирование струйного насоса с подсосом воды,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{1гн}$  (полезная) и общая  $Q_{1гн\text{у}}$  от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1:

$$Q_{1гн} = Q_{н} \cdot \left( \frac{K_{Э1}}{1+K_{Э1}} + \frac{\gamma-\gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (4)$$

$$Q_{1гн\text{у}} = Q_{н} \cdot \left( \frac{1+2K_{Э1}}{1+K_{Э1}} + \frac{\gamma-\gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5)$$

где  $\gamma, \gamma_{см}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах,  $\text{Н}/\text{м}^3$ .

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{2гн1}$  и общая подача  $Q_{2гн\text{у}1}$  от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2:

$$Q_{2гн1} = K_{Э1} \cdot Q_{н}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (6)$$

$$Q_{2гн\text{у}1} = (1 + K_{Э1}) \cdot Q_{н}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7)$$

где  $Q_{н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $K_{Э1}$  – коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды, который должен по принятой гипотезе для варианта 2 удовлетворять условию и уточняться экспериментально:

$$K_{Э1} = \frac{Q_{гн}}{Q_{э}} \leq 1,0 \quad (8)$$

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{2гн}$  (полезная) от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2:

$$Q_{2гн} = Q_{н} \cdot \left( K_{Э1} + \frac{\gamma-\gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{ч} \quad (9)$$

где  $\gamma, \gamma_{см}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах,  $\text{Н}/\text{м}^3$ .

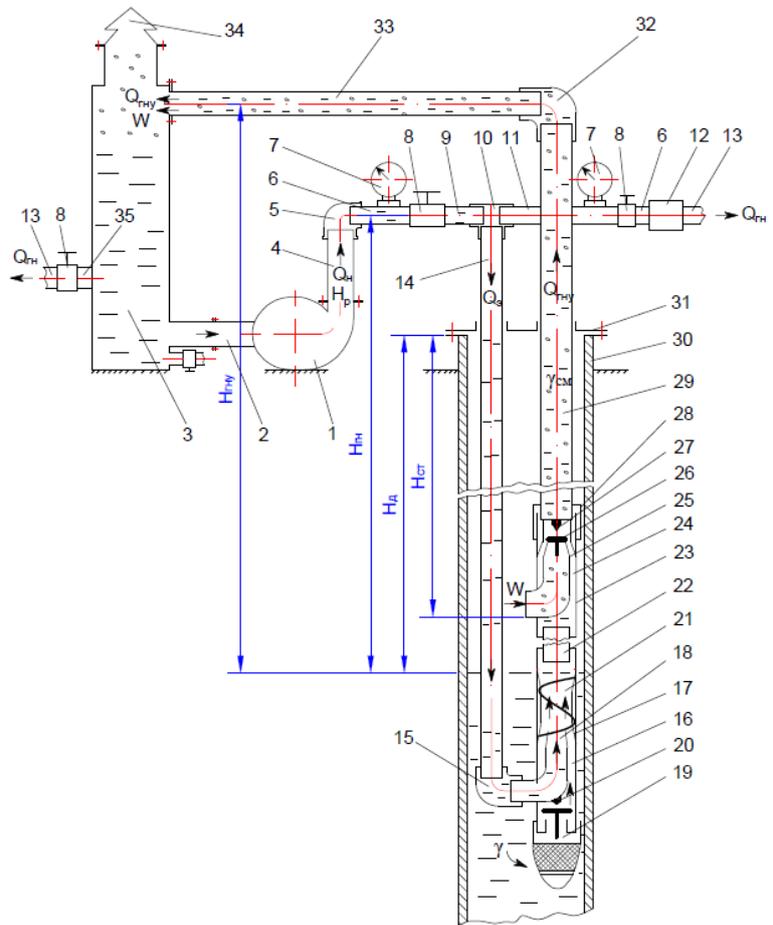


Рис. 1. Технологическая схема гидроструйной насосной установки  
 1 – центробежный насос; 2 – всасывающий патрубок; 3 – ёмкость; 4 – напорный патрубок центробежного насоса; 5 – манометр насоса; 6 – задвижка насоса; 7 – труба отводная; 8 – манометр отводной трубы; 9 – задвижка отводная; 10 – трубопровод нагнетательный; 11 – струйный насос для подсоса воды; 12 – струйный насос для подсоса атмосферного воздуха; 13 – водоподъёмный трубопровод; 14 – скважина; 15 – труба отвода воды из ёмкости; 16 – задвижка ёмкости;  
 $Q_n$  – подача центробежного насоса;  $Q_{гн}$ ,  $Q_{гнy}$  – подача полезная и общая гидроструйной насосной установки;  $Q_з$  – расход подачи на эжектирование;  $H_p$ ,  $H_{гн}$ ,  $H_{гнy}$  – напор центробежного насоса, гидроструйного насоса и насосной установки;  $H_{гн}$ ,  $H_{гнy}$  – высота водоподъёма гидронасоса и насосной установки;  $H_{ст}$ ,  $H_д$  – уровень воды в скважине статический и динамический.

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{2\text{гн}} (общая)$  для варианта 2:

$$Q_{2\text{гн}} = Q_{\text{н}} \cdot \left( \frac{1+2K_{\text{Э1}}}{1+K_{\text{Э1}}} 1 + K_{\text{Э1}} + \frac{\gamma-\gamma_{\text{см}}}{\gamma_{\text{см}}} \cdot \frac{\gamma}{\gamma_{\text{см}}} \right), \text{ м}^3/\text{ч} \quad (10)$$

Напор гидроструйной насосной установки  $H_{\text{рн}} (общая)$ :

$$H_{\text{рн}} = \frac{H \cdot \gamma_{\text{см}}}{\gamma} - \frac{v_{\text{ca2}}^2 - v_{\text{сп2}}^2}{2g} + h_l + h_m \quad (11)$$

где  $H$  – высота водоподъёма, м;  $v_{\text{ca1}}, v_{\text{сп1}}$  – скорость движения воды в активном и пассивном соплах струйного насоса, м/с;  $h_l, h_m$  – потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери, м (определяются по известным формулам в гидравлике) и экспериментально [7].

Удельный вес  $\gamma_{\text{см}}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах:

$$\gamma_{\text{см}} = \frac{\gamma}{H} \cdot \left( H_{\text{рн}} + \frac{v_{\text{ca2}}^2 - v_{\text{сп2}}^2}{2g} - h_l - h_m \right), \text{ Н/м}^3 \quad (12)$$

Полезная  $N_{\text{п}}$  и затраченная  $N_{\text{гн}}$  мощности и КПД  $\eta_{\text{гн}}$  насосной установки:

$$N_{\text{п}} = 9,81 \cdot Q_{\text{гн}} \cdot H_{\text{гн}}, \text{ кВт} \quad (13)$$

где, 9,81 – переводной коэффициент размерности Вт в кВт.

$$N_{\text{гн}} = \frac{N_{\text{п}}}{\eta_{\text{гн}}} = \frac{9,81 \cdot Q_{\text{гн}} \cdot H_{\text{гн}}}{\eta_{\text{гн}}}, \quad (14)$$

$$\eta_{\text{гн}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{гн}}} = \frac{Q_{\text{гн}} \cdot H_{\text{гн}}}{Q_{\text{гн}} \cdot H_{\text{рн}}}. \quad (15)$$

Формулы по определению вакуумных напоров, создающих в струйных насосах с подсосом поднимаемой воды  $H_{\text{вак1}}$  и подсосом атмосферного воздуха  $H_{\text{вак2}}$  [6]:

$$H_{\text{вак1}} = \frac{v_{\text{ca1}}^2 - v_{\text{сп1}}^2}{2g} - H_{\text{в}} = h_{\text{ск1}} - H_{\text{в}}, \text{ м} \quad (16)$$

$$H_{\text{вак2}} = \frac{v_{\text{ca2}}^2 - v_{\text{сп2}}^2}{2g} = h_{\text{ск2}}, \text{ м} \quad (17)$$

где  $v_{\text{ca1}}, v_{\text{сп1}}, v_{\text{ca2}}, v_{\text{сп2}}$  – скорости движения воды и атмосферного воздуха в активном и пассивном соплах струйных насосов, м/с;  $H_{\text{в}}$  – столб воды над патрубком пассивного сопла, м;  $h_{\text{ск1}}, h_{\text{ск2}}$  – скоростные напоры, создаваемые в струйных насосах, м.

Технические параметры струйных насосов: внутренние диаметры активного  $D_{\text{ca}i}$ , пассивного  $D_{\text{сп}i}$  сопел струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха, скорости в них движения воды и атмосферного воздуха  $v_{\text{ca}i}, v_{\text{сп}i}$  определяются по известным формулам [6, 7].

**Выводы.** 1. В результате исследований доказаны преимущества альтернативной технологии водоподъёма с использованием

усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, по сравнению с традиционной в повышении подачи в 2...4 раза, снижении потребного напора в 1,5...2 раза и повышении КПД в 1,1...2 раза.

2. На основании теоретических исследований технологического процесса усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки, получены формулы для обоснования основных технологических параметров, которые являются основой для разработки необходимых типоразмеров гидроструйных насосных установок для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Есполов Т.И., Яковлев А.А., Саркынов Е.С., Зулпыхаров Б.А., Кайпбаев Е.Т., Ауелбек Е.К., Жакупова Ж.З. Пневмокамерные и эрлифтные насосные установки. – Алматы: Айтумар, 2018. – С. 214-219.
2. Касымбеков Ж.К. Гидроциклонно-эжекторные технологии подъёма воды и очистки обводнительных сооружений. – Тараз: ИЦ «Аква», 1999. – С. 141-143.
3. Луговский М.В., Кашеков Л.Н., Усаковский В.М., Белозеров Н.П., Лихоеденко П.К., Хоружий П.Д. Средства механизации и основы расчета систем сельскохозяйственного водоснабжения. – М.: Машиностроение, 1969. – С. 191-196.
4. Патент KZ № 33182, 22.10.2018.  
Есполов Т.И., Сейтасанов И.С., Абдрешов Ш.А., Байжігіт А.К., Баспакова Г.Р., Жолаева Г.И. Струйный насос // Патент KZ № 33182, 2018. Оpubл., бюл. № 39.
5. Усаковский В. М. Водоснабжение и водоотведение в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 2002. – С. 114-118.
6. Яковлев А.А., Саркынов Е., Кайпбаев Е.Т., Алдиярова А.Е. Теоретическое исследование по разработанной схеме пневмовакуумной (эрлифтной) насосной установки // «Известия» НАН РК, Серия аграрных наук. – 2017. – №3 (39). – С. 100-106.
7. Яковлев А.А., Саркынов Е. Новое направление в совершенствовании технологии беструбного водоподъёма из скважин погружными электронасосами в системе водоснабжения и мелиорации Казахстана // «Известия» НАН РК: Серия аграрных наук. – 2016. – №3. – С. 5-14.

8. Kaipbayev Ye., Yespolov T., Sarkynov Ye., Yakovlev A., Aldiyarova A. Investigation into water lifting from wells using vacuum (airlift) pump assembly for flooding of pastures // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET) – 2018. – Volume 9, Issue 1. – P. 792–804.
9. Nietaliev 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. – 2019. – Volume-8. – Issue-1.– P. 212-218.
10. Niyetaliyeva A.A., Yakovlev A.A., Sarkynov E. Development of theoretical prerequisites for the technology of water lifting from wells using the submersible electric high pressure electrical centrifugal pump and air-sucking device // «Известия» НАН РК: Серия аграрных наук. – 2019. – №1(49). – С. 21-28.
11. Zhakupova Z., Yakovlev A., Yespolov T., Ghinassi G., Sarkynov Y. Experimental study into the processes running in hydraulic packer upon pipeless water lifting from wells by means of electrical submersible pump // BioScience and Biotechnology. – 2016. – Vol.13(3). – P. 1499-1513.

Поступила 22.11.2019 г.

|                                   |                 |
|-----------------------------------|-----------------|
|                                   | Ш.А. Абдрешов   |
| Техн. ғылым. кандидаты, профессор | И.С. Сейтасанов |
| Техн. ғылым. кандидаты, профессор | А.А. Яковлев    |
| Техн. ғылым. кандидаты, профессор | Е. Саркынов     |
| PhD доктор                        | Б.А. Зулпыхаров |

#### **ГИДРОАҒЫНДЫ ГИДРОАҒЫНДЫ СОРАП ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ ҰҢҒЫМАЛАРЫНАН СУ КӨТЕРУДІҢ ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІ БОЙЫНША ТЕОРИЯЛЫҚ АЛҒЫШАРТТАР**

**Түйінді сөздер:** теориялық зерттеу, гидроағындық сорап қондырғысы, су көтерудің баламалы технологиясы, су және атмосфералық ауаны соратын ағынды сорап, технологиялық процесс, ұңғыма, параметр.

*Ғылыми мақалаұбырларына суды және атмосфералық ауаны соруға арналған ағынды сорғыларды пайдалана отырып, су көтерудің баламалы технологиясы бойынша жұмыс істейтін гидроструйлік сорғы қондырғысының ұңғымаларынан су көтерудің технологиялық процесі бойынша теориялық зерттеулер жүргізуге бағытталған. Дәстүрлі су көтерудің баламалы технологиясының артықшылықтары келтірілген. Негізгі технологиялық*

*параметрлерді анықтау бойынша теориялық зерттеулердің нәтижелері берілді: пайдалы және жалпы беру, Эжекция коэффициенті, қажетті арын, көтерілетін су-ауа қоспасының үлес салмағы, пайдалы және жұмсалған қуат, ағынды сорғылармен жасалатын вакуумдық арын.*

Sh.A. Abdreshov, I.S. Seitasanov, A.A. Yakovlev, Ye.S. Sarkynov,  
B.A. Zulpykharov

### **THEORETICAL BACKGROUND ON THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF WATER LIFTING FROM THE WELLS OF THE HYDRAULIC PUMPING UNIT**

**Key words:** Theoretical research, hydrojet pumping unit, alternative technology of water lifting, jet pump with suction of water and atmospheric air, technological process, well, parameter.

*The scientific article is aimed at carrying out theoretical studies on the technological process of water lifting from the wells of a hydrojet pumping unit operating on an alternative technology of water lifting with the use of jet pumps for sucking water and atmospheric air into the water-lifting pipes. Advantages of alternative technology of water lifting in comparison with traditional are resulted. The results of theoretical studies to determine the main technological parameters: useful and total supply, ejection coefficient, the required head, the specific weight of the raised water-air mixture, useful and expended power, vacuum heads created by jet pumps.*