

Казахский национальный аграрный исследовательский университет

УДК 628.1:621.6.052:631.672(2)

На правах рукописи

**АБДРЕШОВ ШАМИЛЬ АСКАРОВИЧ**

**Совершенствование технологии водоподъема из скважин с помощью гидроструйных насосных установок для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ**

6D080500- Водные ресурсы и водопользование

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Отечественный научный консультант  
кандидат технических наук,  
ассоц.профессор Сейтасанов И.С.

Зарубежный консультант  
доктор технических наук, профессор  
Айнис Лагздиньш Латвийский  
сельскохозяйственный  
университет (Латвия, Елгава)

Республика Казахстан  
Алматы, 2022

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....</b>	<b>4</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>5</b>
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>	<b>6</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>8</b>
<b>1 ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДЪЕМА ИЗ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОСТРУЙНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ.....</b>	<b>12</b>
1.1 Обзор литературы и патентный поиск по технологии водоподъема из скважин с использованием гидроструйной насосной установки.....	12
1.2 Обоснование технологии водоподъема из скважин с использованием усовершенствованной гидроструйной насосной установки.....	24
1.3 Усовершенствованная конструктивно-технологическая схема гидроструйной насосной установки .....	25
1.3.1 Классификация гидроструйных насосных установок.....	25
1.3.2 Обоснование конструктивно технологической схемы гидроструйной насосной установки.....	26
<b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОДОПОДЪЕМА ИЗ СКВАЖИН.....</b>	<b>31</b>
2.1 Методика проведения теоретических исследований по технологическому процессу водоподъема из скважин гидроструйной насосной установки.....	31
2.2 Теоретические предпосылки технологического процесса водоподъема из скважин и протекающих процессов в струйных насосах.....	39
2.2.1 Результаты выполненных теоретических предпосылок технологического процесс водоподъема из скважин гидроструйной насосной установкой.....	39
2.2.2 Теоретические предпосылки технологического процесса водоподъема из скважин и протекающих процессов в струйных насосах.....	49
<b>3 МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСТРУЙНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ.....</b>	<b>54</b>
3.1 Разработка методики обоснования параметров гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ...	54
3.2 Обоснования необходимых параметров гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.....	63

<b>4</b>	<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОСТРУЙНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ.....</b>	<b>65</b>
4.1	Разработка экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки.....	65
4.2	Экспериментальные исследования и лабораторных испытания гидроструйной насосной установки.....	66
4.3	Результаты экспериментальных исследований по технологическому процессу водоподъема из скважин гидроструйной насосной установки.....	74
4.4	Экспериментальные исследования по протекающим процессам в струйных насосах гидроструйной насосной установки .....	77
4.5	Результаты лабораторных испытаний усовершенствованной гидроструйной насосной установки.....	83
<b>5</b>	<b>ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДЪЕМА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ РЕАЛИЗАЦИИ.....</b>	<b>87</b>
5.1	Выбор методики технико-экономического обоснования разработки .....	87
5.2	Сравнение эффективности предлагаемой и базовой насосной установки.....	90
5.4	Определение экономической эффективности разработки.....	93
5.5	Маркетинговые исследования и предложения по реализации разработки.....	94
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>97</b>
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>99</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>107</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....</b>	<b>108</b>
	<b>Приложение В .....</b>	<b>111</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....</b>	<b>112</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Д .....</b>	<b>117</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е .....</b>	<b>120</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Ж.....</b>	<b>122</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ З .....</b>	<b>138</b>

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:  
ГОСТ 2.105-95 Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.111-68 Единая система конструкторской документации. Нормоконтроль.

ГОСТ 6.38-90 Унифицированные системы документации. Система организационно-распорядительной документации. Требования к оформлению документов.

ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.  
ГОСТ 8.417-81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ГОСТ Р15.01-96. Порядок проведения патентных исследований.

ГОСТ 2405-88. Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягометры и тягонапорометры. Общие технические условия.

ГОСТ 3262-75. Стальные водогазопроводные трубы. Общие технические условия.

ГОСТ 6134-87. Насосы динамические. Методы испытаний.

ГОСТ 7502-98. Рулетки измерительные металлические. Технические условия.

ГОСТ 10362 -76. Рукава прорезиненные. Общие технические условия.

ГОСТ 22247-76 Насосы центробежные консольные общего назначения для воды. Общие технические условия.

ГОСТ 10428-Я9. Насосы центробежные скважинные для воды с погружным электродвигателем. Общие технические условия.

ГОСТ 15.001-88. Разработка и постановка продукции на производство.

Основные показатели.

ГОСТ Р 15.201-2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство.

ГОСТ 18164-72. Вода питьевая. Методы определения содержания сухого остатка.

ГОСТ 23728-80 – ГОСТ 23730-88. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки.

ГОСТ 24104-2001. Весы лабораторные. Общие технические условия.

ГОСТ 24902-81. Вода хозяйственно-питьевого назначения. Общие требования к полевым методам анализа.

ОСТ 1021.1-2002. Испытания сельскохозяйственной техники. Установки водоподъемные. Методы оценки функциональных показателей.

РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

**Всасывающее устройство к центробежному насосу** – устройство для подсоса воды из скважины и подсоса атмосферного воздуха в водоподъёмный трубопровод (создания полезной подачи и водо-воздушной смеси).

**Динамический уровень воды в скважине** - уровень воды от оголовка

**Конструкция** - устройство, взаимное расположение частей, состав какого-либо строения, механизма и т.п. (например, насосной установки, эжектор, всасывающее устройство)

**Коэффициент полезного действия** - отношение полезной мощности к мощности затраченной

**Коэффициент эжекции гидроструйной насосной установки** – отношение созданной полезной подачи к подаче на эжектирование.

**Мощность полезная** - мощность, сообщаемая насосной установкой подаваемой воде.

**Мощность затраченная** - мощность, потребляемая насосной установкой.

**Напор насосной установки** – избыточное давление, создаваемое насосной установкой, измеряемое в метрах водяного столба, определяется зависимостью:  $H_p = P / \gamma$ , где  $P$  – избыточное давление насосной установки, Па;  $\gamma$  – удельный вес воды, Н/м<sup>3</sup>,  $H_p$  - напор, м. вод. ст.

**Напор скоростной** – давление, создаваемое от скорости движения воды, измеряемое в м. вод. ст., определяется зависимостью:  $H_{ск} = v^2/2g$ , где  $v$  – скорость движущейся воды, м/с;  $H_{ск}$  – скоростной напор, м. вод. ст.

**Напор вакуумный** – давление ниже атмосферного (разряжение), создаваемое насосной установкой, измеряемое в м. вод. ст., определяется зависимостью:  $H_{вак} = \frac{P_a - P_э}{\gamma}$ , где  $P_a$  – давление атмосферное, Па;  $P_э$  – давление в вакуумной системе насосной установки, Па;  $H_{вак}$  – вакуумный напор, м. вод. ст.

**Подача** - отношение объёма подаваемой воды насосной установкой ко времени.

**Статический уровень воды в скважине** – уровень воды от оголовка скважины до уровня воды внутри скважины при статическом её состоянии.

**Струйный насос** - устройство для нагнетания (отсасывания) жидких или газообразных веществ (воды, атмосферного воздуха), действие которого основано на увлечении нагнетаемого (отсасываемого) вещества струей жидкости, пара или газа (соответственно различают жидкоструйные, пароструйные и газоструйные насосы).

**Технология подъема воды из скважин** – подъем воды из скважин с использованием гидроструйной насосной установки.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

**Q** - подача насосной установки, расход воды, м<sup>3</sup>/с;

**H** - напор насосной установки, насоса, скоростной и вакуумный напоры, высота водоподъёма, м. вод.ст.;

**П** - коэффициент полезного действия насосной установки, насоса, использования рабочего времени смены;

**V** - скорость движения воды в водоподъемных трубах, во всасывающих устройствах, м/с;

**P** – избыточное давление воды, создаваемое внутри трубопроводов, всасывающих устройств, Па;

**N** – полезная и затраченная мощность, Вт;

**D, d** - диаметр отверстий труб, активных и пассивных сопел, всасывающих устройств, круглого профиля деталей, м;

**K<sub>э</sub>** - коэффициент эжекции гидроструйной насосной установки;

**F** - площадь сечения проходных отверстий, русла водотока, м<sup>2</sup>;

**γ** - удельный вес воды, Н/м<sup>3</sup>;

**γ<sub>см</sub>** - удельный вес водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах, Н/м<sup>3</sup>

**ρ** - плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;

**ξ** - коэффициент местных сопротивлений во всасывающих устройствах;

**λ** - коэффициент трения воды в водоподъемных трубопроводах;

**m** - масса груза, тел и т.д., кг;

**L, l** - длина трубопровода, смесительной камеры всасывающего устройства, м;

**U** - окружная скорость воды на входе и выходе рабочего колеса используемого центробежного насоса, м/с;

**h** – потери напора в струйном насосе, всасывающих устройствах и водоподъемном трубопроводе, м;

**КазНИИМЭСХ** – Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства;

**П** - выработка насосной установки, м<sup>3</sup>;

**T** - годовая загрузка, ч;

**L** - количество обслуживающего персонала, чел;

**A** - удельное сопротивление водоподъемных труб, норма отчисления на реновацию водоподъемника, %;

**R** - нормы отчислений на ремонт и техническое обслуживание, %;

**G** – масса водоподъемных труб на одну насосную установку, тонн;

**C** - удельные отчисления на реновацию, техобслуживание и ремонт, на топливо-смазочные материалы, тенге/м<sup>3</sup>;

**Z** – часовая ставка оплаты труда, тенге;

**ГНУ**- гидроструйная насосная установка;

**CP 220B** – марка центробежного насоса;

**СНГ** - Союз независимых государств;

**ГСХА** - Государственная сельскохозяйственная академия;

**ГНУ ВИЭСХ** - Государственное научное учреждение Всероссийский

научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства;  
**ДВС** - двигатель внутреннего сгорания;  
**АПК** - агропромышленный комплекс;  
**КПД** - коэффициент полезного действия;  
**ЦНИИКИВР** – Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов;  
**РГП КазНАУ** – Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Казахский национальный аграрный университет»;  
**НАО КазНАУ** – Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный аграрный университет»;  
**ТОО «vTASBULAK»** - Товарищество с ограниченной ответственностью «Талгарский литейно-механический завод»;  
**УНВ-5-10** - установка насосная напорно-вакуумная;  
**НИОКР** - научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки;  
**ЭЦВ** - электропогружной центробежный водоподъёмный насос;  
**ЮжНИИГиМ** - Южный научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации;  
**ФГБУ ВПО** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** В Послании первого Президента страны Н. А. Назарбаева «Казахстан-2030» [1] указывается, что в числе первоочередных приоритетных направлений рыночной экономики является развитие сельского хозяйства на ближайшие 13 лет, в т. ч. по развитию села ставится задача решения проблем водоснабжения, электроснабжения и благоустройства.

В Казахстане, в том числе в странах СНГ и за рубежом, для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ при подъёме воды из скважин и шахтных колодцев, в настоящее время широко используются водоструйные насосные установки, которые состоят из центробежного насоса и струйного аппарата. Преимуществом последних, по сравнению с другими насосными установками аналогичного назначения, является высокая эксплуатационная надёжность насосной части, опускаемой в водоисточник [2-6].

Однако гидроструйные насосные установки имеют низкий общий коэффициент полезного действия (КПД), который изменяется в пределах 0,18 – 0,44 из-за высокого давления, необходимого для увеличения скорости движения воды через активные сопла струйных насосов. Чтобы понизить потребное давление необходимо усовершенствовать технологию подъёма воды с использованием некоторой конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки посредством использования струйного насоса с подсосом воды за счёт повышения коэффициента эжекции и производительности струйного насоса. Для уменьшения расхода активной среды за счёт импульсной подачи активного потока, применяют свойства закрученных струй и вовлечения её в общий поток, повышая при этом подачу насосной установки на 20...30%, по сравнению с подачей аналогов. Кроме того, необходимо обеспечить водоподъёмный трубопровод струйным насосом для подсоса атмосферного воздуха в водоподъёмный трубопровод, для создания в нём водо-воздушной смеси с меньшим в 1,5 – 2 раза удельным весом, снижая потребный напор насосной установки в 1,5 – 2 раза. Создавая такие условия, можно достичь повышения КПД насосной установки до 57% [7].

На сегодня не проводились исследования технологии водоподъёма из скважин с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки. Однако практическое применение отдельно каждого процесса имело место: подсос воды использовался в струйных насосах [2-6], в технологии беструбного водоподъёма [8] и погружных электронасосах со всасывающими устройствами [9], в эрлифтных водоподъёмниках [10, 11]. 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 актуальность и новизну. В конструктивно-технологической схеме, предложенной автором насосной установки, струйный насос защищен патентом на изобретение KZ № 33182 «Струйный насос» [12]. В этой связи проведение исследований и разработка

конструкций по усовершенствованию технологии водоподъема из скважин с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки является весьма актуальным.

Диссертационная работа по данному направлению выполнялась в НАО КазНАУ на кафедре «Водные ресурсы и мелиорация», результаты которой опубликованы в зарубежных и отечественных журналах и материалах международных конференций [7, 13-21].

Настоящая работа связана с заданием по по бюджетной программе 026 «Предоставление инновационных грантов в рамках направления Производительность-2020» АО «Национальное агентство по технологическому развитию» Министерства индустрии и новых технологий РК по проекту «Разработка нового типа пневмовакуумной (эрлифтной) насосной установки для подъема воды из подземных водоисточников с использованием ресурсосберегающей технологии и повышающей качество поднимаемой воды», подтверждая актуальность предложенной темы докторской диссертации (2012-2017гг.).

**Цель работы:** разработка альтернативной технологии водоподъема из скважин с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки, проведение теоретических исследований по обоснованию технологических и технических параметров насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ с повышением подачи в 2-4 раза и снижением потребного напора в 1,5-2 раза.

**Основные задачи исследования:**

- выбор направление исследований, обзор существующей литературы и патентные исследования по технологии подъема воды с использованием гидроструйной насосной установки и струйных насосов;

- разработка технологии водоподъема для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ с использованием гидроструйной насосной установки и струйных насосов, создающих полезную подачу посредством подсоса воды и атмосферного воздуха в водоподъемный трубопровод, а также конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки;

- теоретические предпосылки технологического процесса предлагаемой технологии водоподъема и протекающих процессов в струйных насосах;

- разработка методики обоснования по определению исходных, технологических и технических параметров гидроструйной насосной установки;

- разработка экспериментального образца гидроструйной насосной установки и проведение экспериментальных исследований и лабораторных испытаний;

- технико-экономическое обоснование по предлагаемой конструкции гидроструйной насосной установке.

**Объект исследования** - технология подъема воды из скважин для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ с

использованием гидроструйной насосной установки.

**Предмет исследования** - технологический и гидродинамические процессы, протекающие в струйных насосах, создающие полезную подачу посредством подсоса воды и атмосферного воздуха в водоподъёмный трубопровод насосной установки.

**Методика исследований.** В работе использовались теоретические и экспериментальные методы исследований, а также патентные с обзором работ.

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

Экспериментальные исследования проводились по протекающим процессам в струйных насосах. Достоверность теоретических зависимостей осуществлялась методом аппроксимации опытных данных, принимая за критерий оценки коэффициент корреляции не ниже 0,95, т.е. расхождение опытных данных с теоретическими должно находиться в пределах 5%.

**Научная новизна исследований** заключается в:

- новой альтернативной технологии водоподъёма из скважин с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки, всасывающих устройств;

- усовершенствованной конструктивно-технологической схеме гидроструйной насосной установки, подтвержденной патентом;

- предложенных теоретических предпосылках технологического процесса водоподъёма гидроструйной насосной установки;

- разработке классификации существующих гидроструйных насосных установок;

- методике обоснования необходимых параметров гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- альтернативная технология водоподъёма из скважин и конструктивно-технологическая схема гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, позволяющая повысить подачу насосной установки в 2-4 раза, снизить потребный напор насосной установки в 1,5 – 2 раза и повысить КПД насосной установки в 1,3-3,1 раза;

- теоретические предпосылки технологического процесса предлагаемой технологии водоподъёма и протекающих процессов в струйных насосах;

- методика обоснования исходных, технологических и технических параметров гидроструйной насосной установки;

- технико-экономическое обоснование предлагаемой конструкции гидроструйной насосной установки.

**Практическая значимость полученных результатов** заключается в решении вопросов повышения эффективности работы гидросиловых установок для водоподъёма из подземных источников. С этой целью были разработаны рекомендации производству, которые внедрены в ТОО ТОО «vTASBULAK» -

«Талгарский литейно-механический завод».

Кроме того, отдельные результаты исследований используются в учебном процессе по дисциплинам «Гидросиловые установки» и «Сельскохозяйственное водоснабжение» для студентов бакалавриата по специальностям: «Водные ресурсы и водопользование» и «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» имеется акт о внедрении в учебный процесс результатов исследований.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были доложены на Международных научно-практических конференциях: «Устойчивое развитие: региональные аспекты» (г. Брест, Республика Беларусь, 24-26 апреля 2019 г.); на XIII международной научной конференции молодых ученых «инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане» (г. Тараз, Республика Казахстан, 7 ноября 2019г.).

Отдельные результаты исследований используются в учебном процессе, материалах лекционных и практических занятий по дисциплинам «Гидросиловые установки» и «Сельскохозяйственное водоснабжение» для студентов бакалавриата по специальностям: «Водные ресурсы и водопользование» и «Мелиорация, рекультивация и охрана земель» имеется акт о внедрении в учебный процесс результатов исследований.

**Публикации.** Основные результаты исследований опубликованы в 13 (тринадцать) научных работ, в том числе: 3 (три) в изданиях, рекомендуемые ККСОН МОН РК, 2 (два) в зарубежных изданиях, 6 (шесть) в материалах международных научно-практических конференциях и 2 (два) патента.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованных источников из 101 наименований, содержит 141 страниц компьютерного текста, в том числе 106 страницы основного текста, иллюстрирована 22 рисунками, 4 таблицами и 8 приложениями.

# 1 ТЕХНОЛОГИЯ ВОДОПОДЪЕМА ИЗ СКВАЖИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИДРОСТРУЙНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

## 1.1 Обзор литературы и патентный поиск по технологии водоподъема из скважин с использованием гидроструйной насосной установки

Обзор работ и патентные исследования по принятому направлению исследований проведены в соответствии с ГОСТ Р15.01-96 [22] и РД 07-07-02.1-86 [23] по основным ведущим странам: СНГ (Россия, Казахстан, Республики Беларусь и др.), США, Великобритании, Германии и Японии.

На основании обзора работ и патентных исследований по технологии водоподъема из скважин и техническим решениям гидроструйной насосной установки установлено, что по данному направлению проводились работы в Казахстане, странах СНГ и за рубежом [2-21], которые были направлены на повышение эффективности сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ на объектах АПК.

Вопросам совершенствования технологии водоподъема из скважин с помощью гидроструйных насосных установок для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, разработкам конструктивно-технологических схем, конструкций основных узлов - струйных насосов, теоретическим и экспериментальным исследованиям технологического процесса подъема воды из скважин и шахтных колодцев с использованием центробежных насосов, посвящены отечественные и зарубежные работы, авторами которых являются: Луговской М.В., Кашеков Л.Я., Усаковский В.М., Лихоеденко П.К., Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л. (1960-2002) [2, 3, 6, 24-27]; Турк В.И., Гусак И.В., Карелин В.Я., Минаев А.В. (1961-1986) [5, 28, 29], Жангарин А.И., Касымбеков Ж.К., Трусов М.М., Серимбетов А.Е. (1985-2014) [30-33]; Мускевич Г.Е., Абдураманов Н.А, Койбаков С.М., Балгабаев Н.Н. (1971-2014) [34-40]; Хохлов А.В., Маджидов У.Х. [41, 42]; Карелин В.А., Александров В.В. (1999-2012) [43-46]; Есполов Т.И., Сейтасанов И.С., Яковлев А.А. (1996 – 2019) [7-21, 37, 38, 47-70]; Lambeck R. P., Raymond P., Krivchenko G. I., Chadwick A., Morfett J., Borthwick M. (1983-2013) [71-74]; и др.

На основании обзора работ и патентных исследований установлено, что подъем воды из подземных водоисточников для сельскохозяйственного и пастбищного водоснабжения, как в Республике Казахстан, так и в странах ближнего и дальнего зарубежья осуществляют преимущественно пятью типами водоподъемного оборудования. Каждый тип имеет свои достоинства и недостатки. Рассмотрим их подробнее.

Первый тип – центробежные (погружные) насосы в соответствии с ГОСТ 104 28-71 [75] имеют большой типоразмерный ряд по напору и диаметру, позволяющих покрывать все высоты водоподъема скважин по динамическому уровню [9] и диаметру обсадных труб в соответствии с ГОСТ632-64 [76]. Они могут использоваться круглогодично, однако, применение их ограничено по минерализации воды (до 2 г/дм<sup>3</sup>) и по содержанию в воде твердых частиц

(песка) – до 0,02% по массе [2-4].

Второй тип – шнуровые и ленточные водоподъемники, просты по конструкции, могут использоваться при более повышенной минерализации воды (до 5 г/дм<sup>3</sup>) и содержании песка в воде до 0,5% по массе. Однако их применение ограничено сезонностью использования (летние и весенне-осенние периоды), высотой водоподъема (до 20 ... 50 м) и внутренним диаметром водоисточника (от 150 мм и более). Кроме того, они являются безнапорными, поэтому не могут транспортировать поднятую воду на определенное расстояние от водоисточника [2, 4].

Третий тип – воздушные водоподъемники (эрлифты) имеют высокую надежность и простоту конструкции насосной части, могут применяться круглогодично при повышенной минерализации воды (до 15 г/дм<sup>3</sup>) и содержанием в воде твердых частиц (до 1% по массе), при малых диаметрах скважин или шахтных колодцев (116 мм и более) и искривленных обсадных трубах скважин. Однако их применение ограничено отсутствием их серийного производства [2, 4, 9].

К четвёртому типу относятся ветроводоподъемники. Основное их достоинство – использование их для привода насоса энергии ветра. Однако их применение ограничено по скорости ветра (до 3 м/с), при ветровом затишье более суток необходим резервный двигатель для привода насоса, малая высота водоподъема (до 20м), большая металлоемкость, ограничено их применение в водоисточниках с повышенным содержанием твердых частиц (более 0,1 % по массе) [2, 4].

И, наконец, пятый тип водоподъемного оборудования это гидроструйные насосные установки, к основному достоинству которых можно отнести высокую эксплуатационную надёжность его насосной части, опускаемой в подземный водоисточник. Однако ограничено их применение из-за низкого КПД (до 0,18-0,44) и низкой полезной подачи по причине недостаточности проведённых исследований, хотя они ранее находились в серийном производстве и были востребованы в сельскохозяйственном и пастбищном водоснабжении [2-4].

В 1955...2005 гг. в ВИЭСХ учеными Кашековым Л.Я., Лихоеденко П.К., Кирилловским Ю.Л., Подвидз Л.Г. [2, 3, 6, 24-27] исследованы и разработаны конструкции водоструйных установок для подачи воды из трубчатых и шахтных колодцев. Дана теория технологического процесса струйных аппаратов и методика расчета водоструйных установок, в результате было разработано шесть типоразмеров водоструйных насосных установок:

- ВН - 2 - 8 (подача - 3,6...11 м<sup>3</sup>/ч, глубина подъёма воды - 15...28 м, напор – 35 – 48 м, мощность - 4,5...7 кВт, КПД - 0,18-0,40, диаметр активного сопла 15,5 мм, диаметр камеры смешения - 25 мм);

- ВН - 2Ц - 6 (подача-6,8...14,4 м<sup>3</sup>/ч, глубина подъёма воды - 15...75 м, мощность - 7... 14 кВт, КПД - 0,20-0,44); ВН-2-Ш (подача - 1...8 м<sup>3</sup>/ч, глубина подъёма воды - 10...35 м, мощность - 0,6...2,8 кВт);

- ВН -1- 4 (подача - 8...26 м<sup>3</sup>/ч, глубина водоподъёма - 10...30 м, мощность - 2,8...4,5 кВт, КПД - 0,28...0,44); ВН-1-3 (подача - 1...2 м<sup>3</sup>/ч,

глубина водоподъёма - 10...20 м, мощность - 0,6 кВт, КПД- 0,18...0,25).

Водоструйные установки состояли из струйного аппарата, подсоединенных к нему колоны водоподъемных и напорных труб, и центробежного насоса с приводным двигателем (ДВС, электродвигатель), причем перед пуском вся система заполнялась водой.

Разработкой аналогичных конструкций занимались другие научно-исследовательские институты и организации: в 1964 г. в ВИСХОМ и МВТУ им. Баумана [4] разработан водоструйный водоподъемник ВП-0,9 (подача-2,2...4,0 м<sup>3</sup>/ч, высота водоподъёма - 10...30 м, мощность - 1,03...1,18 кВт, КПД - 0,19-0,22), который отличался сравнительно меньшей массой. Впоследствии доработка конструкций водоструйных установок для пастбищного водоснабжения проводилась в ГСКБовцемаш. Установки выпускались серийно, после развала СССР выпуск приостановлен. Достоинства - простота насосной части, не имеет вращающихся частей.

В 1995...2003 г.г. в НПП «Водоподъемник» (Узбекистан) [41, 42] проведены исследовательские работы по совершенствованию струйных насосов. В результате была разработана конструкция струйного аппарата с саморегулирующимся проходным сечением отверстия активного сопла, которое позволяет автоматически поддерживать вакуумирующие способности струйного насоса при уменьшении напора подающей рабочей жидкости в активное сопло струйного аппарата. Саморегулирующийся струйный аппарат состоит из подающего и всасывающего патрубков с активным и пассивным соплами и смесительной камеры. Внутри активного сопла соосно установлена конусная игла, соединённая через толкатель с подвижной осью, на которой установлен поршень, подпружиненный относительно днища цилиндра и перемещаемый в цилиндре от действия разности сил сжатия пружины и давления рабочей жидкости. При перемещении поршня, перемещается в осевом направлении игла в сопле, изменяя её проходное сечение

Достоинства - достигнута стабилизация КПД насосной установки и вакуумирующая способность струйного аппарата.

Недостатки - низкая эффективность струйного аппарата при малых напорах рабочей воды.

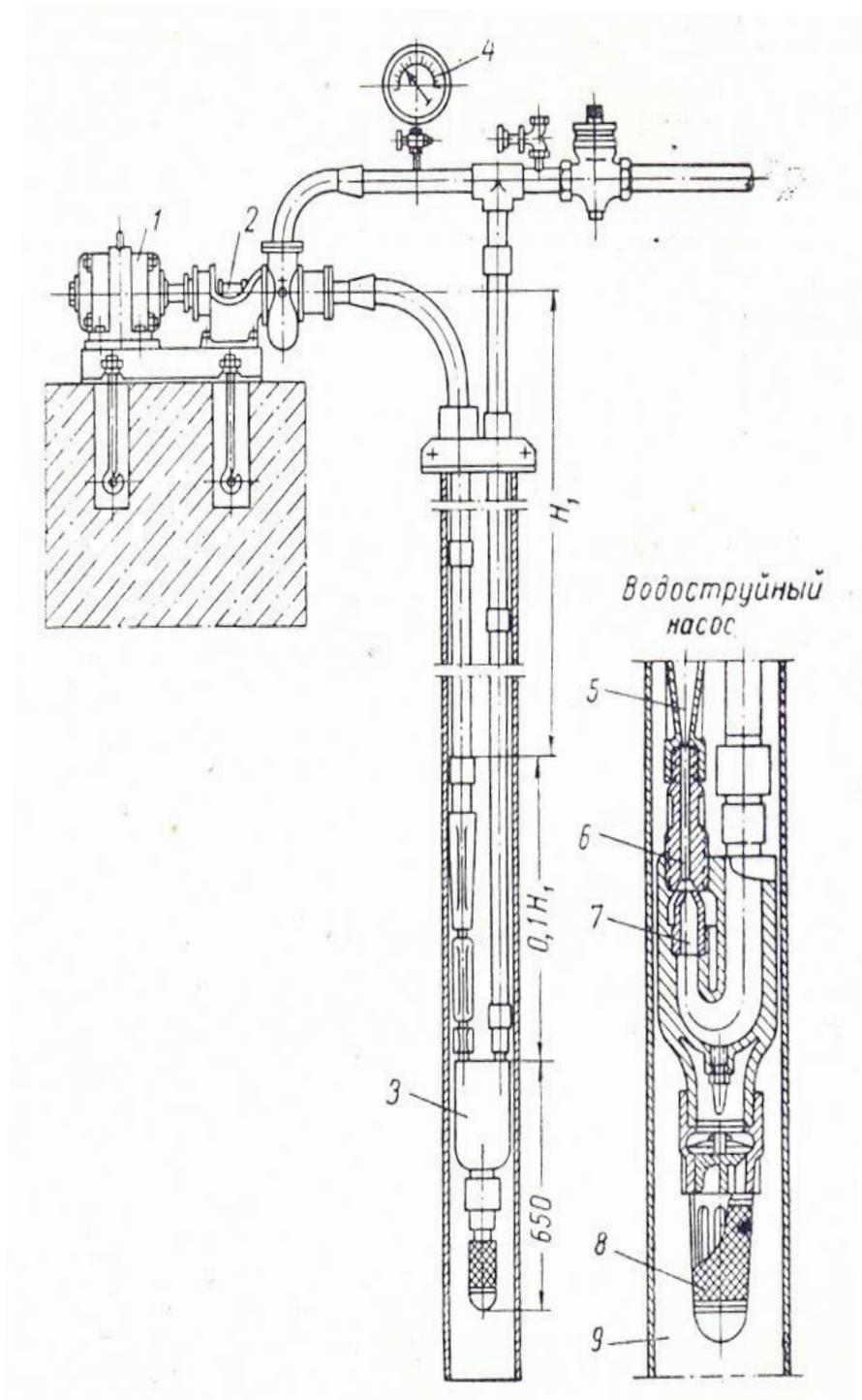
Из известных струйных насосных установок, работающих по традиционной технологии водоподъёма, разработанных в ВИЭСХ и МВТУ им. Баумана и аналогичных конструкций другими авторами, одна из которых показана на рисунке 1.1 [2-6, 24-29].

Водоструйная насосная установка предназначена для подъёма воды из скважин или шахтных колодцев для сельскохозяйственного водоснабжения.

Водоструйная насосная установка состоит из водоструйного насоса 3, центробежного насоса 2 с электродвигателем 1 и системы трубопроводов: напорной, водоподъёмной и нагнетаемой с манометром 4 труб, которые соединены: - на поверхности скважины водоподъёмная со всасывающим патрубком насоса, нагнетаемая с нагнетательным патрубком насоса и с трубопроводом, подающим воду потребителю; - внутри скважины 9 под динамическим уровнем напорная и водоподъёмная трубы соединены с

водоструйным насосом 3, рисунок 1.1.

Водоструйный насос 3 состоит из: корпуса, приёмного клапана, помещённого в клапанной коробке и снабжённого фильтром 8, сопла активного 7, камеры смешения 6 и диффузора 5.



1 – электродвигатель; 2 – центробежный насос; 3 – водоструйный насос; 4 – манометр; 5 – диффузор; 6 – камера смешения; 7 – сопло; 8 – фильтр; 9 – обсадная труба скважины.

Рисунок 1.1 – Водоструйная насосная установка ВН-2-8 для подъёма воды из скважин

Достоинство данной насосной установки - высокая эксплуатационная надёжность насосной части, опускаемой в водоисточник.

Недостаток - низкий общий КПД насосной установки, до 0,18 - 0,44.

Однако гидроструйные насосные установки, работающие по традиционной технологии водоподъёма, имеют низкий общий КПД до 0,18 - 0,44 из-за высокого потребного давления, необходимого для увеличения скорости движения воды через активные сопла струйных насосов. Эти недостатки могут быть устранены созданием технологии подъёма воды с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки, работающей по альтернативной технологии водоподъёма. Принцип предлагаемой технологии водоподъёма заключается в двух последовательно установленных на водоподъёмном трубопроводе новых типов струйных насосов, один из которых для подсоса воды (создания полезной подачи), другой – для подсоса атмосферного воздуха (создания водо-воздушной смеси в водоподъёмном трубопроводе).

В новых типах струйных насосов для повышения их производительности использован эффект импульсной подачи активного потока воды для эжектирования и повышении энергетических свойств закрученных струй пассивного и активного потоков воды. В результате этого интенсивно передаётся энергия активного потока пассивному потоку, вовлекая его в общий поток и повышая полезную подачу на 20...30% по сравнению с полезной подачей аналогов. Кроме того, использован эффект подъёма воды по водоподъёмному трубопроводу в виде водо-воздушной смеси с меньшим удельным весом поднимаемой воды в 1,5 – 2 раза, снижая тем самым потребный напор насосной установки в 1,5 – 2 раза, при этом увеличивая КПД насосной установки до 57% (в 1,3-3,1 раза) [7].

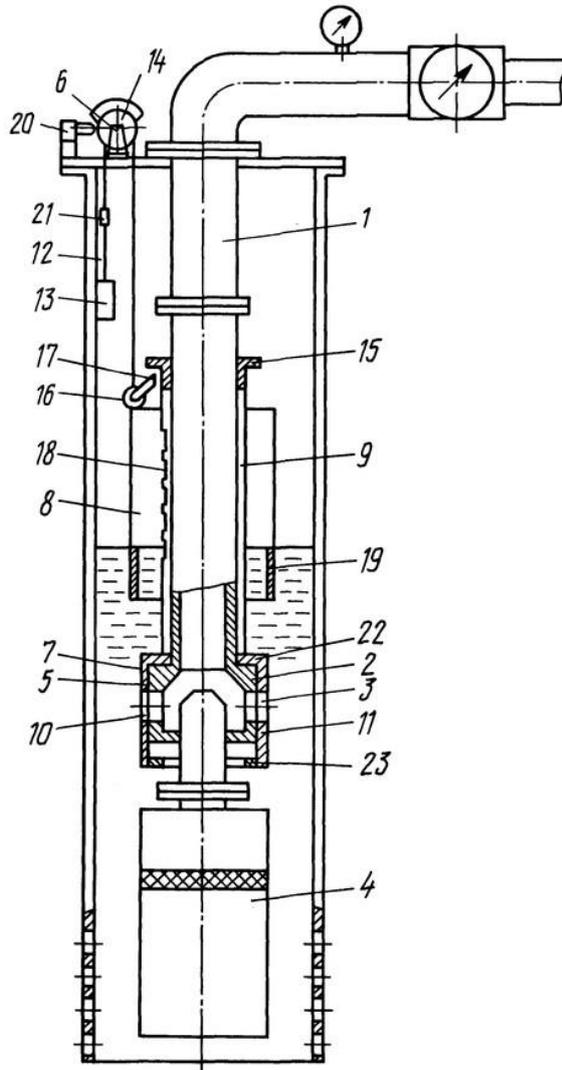
Известны другие типы насосных установок [24-35, 40, 43, 44, 56, 58, 59, 63, 68], в которых применение струйных устройств в технологическом процессе водоподъёма повышает их эффективность в увеличении подачи и КПД.

Например, известно пакерное гидравлическое устройство к погружному электронасосу (патент КЗ № 30044) [58], которое предназначено для обеспечения подъёма воды погружным электронасосом ЭЦВ из скважин по обсадным трубам. Пакер снабжён эжектором, выполненным в виде активного и пассивного сопел, позволяющих за счёт подсоса воды в нагнетательную полость пакерного устройства, улучшить основные технологические параметры насосной установки - подачу и КПД в 1,2 раза при устойчивом протекающем технологическом процессе.

Известна скважинная насосная установка для водозаборных скважин с погружным электронасосом и струйным насосом (патент РФ № 2132969) [43] (рисунок 1.3).

Скважинная насосная установка состоит из колонны насосно-компрессорных труб 1, погружного электронасоса 4 и установленного последовательно с ним струйного насоса 2, устройства для регулирования режима работы 5 и средства для измерения динамического уровня 6. Струйный насос 2 выполнен в виде активного и пассивного сопел, имеет радиальные

приёмные каналы в пассивном сопле, связанные с динамическим уровнем воды в скважине. Устройство для регулирования режима работы 5 выполнено в виде подвижно установленных на струйном насосе кольцевого поплавка 8 и соединённого с ним тягами корпуса 9 с радиальными приёмными каналами 10, участком перекрытия каналов 11 струйного насоса 2 и упорами для положений с раскрытыми 21,22,23 и перекрытыми каналами, обеспечивающими работу насосной установки в оптимальном режиме с минимальными потерями энергии.



1-колонны насосно-компрессорных труб; 2- струйный насос; 3-приёмные радиальные каналы; 4 - погружной электронасос; 5- устройство для регулирования режима работы; 6- средство для измерения динамического уровня; 7-корпус; 8-кольцевой поплавков; 9-тяги корпуса; 10-отверстия приёмных каналов; 11-участок для перекрытия приёмных каналов; 12-гибкая мерная связь; 13-противовес; 14-направляющий ролик; 15-упор тяги; 16-фиксатор; 17-собачка; 18-рейка; 19-дополнительный корпус; 20-концевой выключатель насоса; 21.22,23 – упоры для выключения насоса и удержания корпуса струйного насоса.

Рисунок 1.2 - Насосная установка для водозаборных скважин с погружным электронасосом и струйным насосом

Использование в насосной установке с погружным электронасосом струйного насоса позволяет увеличить падачу на 15-20%.

Недостатком этой насосной установки является сложность конструкции струйного насоса и устройства для регулирования режима работы насосной установки по увеличению подачи в зависимости от изменения динамического уровня воды в скважине, а также невозможности увеличения высоты водоподъёма насосной установки и подачи насоса из-за отсутствия всасывающего устройства для подсоса атмосферного воздуха, с целью уменьшения удельного веса поднимаемой воды по колонне насосно-компрессорных (водоподъёмных) труб. Причиной недостатка является конструкция насосной установки.

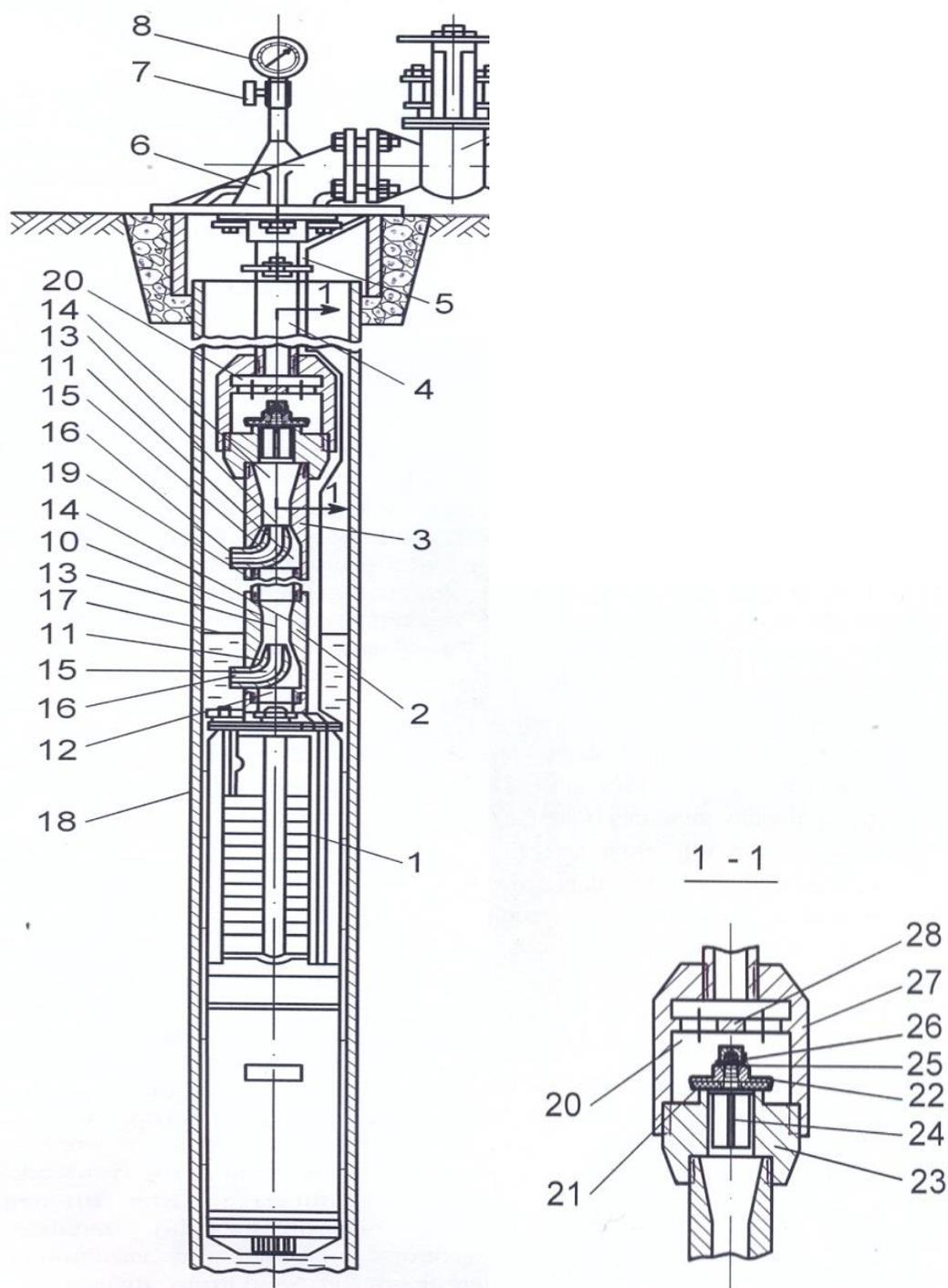
Известна насосная установка с погружным электронасосом для водозаборных скважин (патент КЗ №33313) [56], разработанная в КазНАУ (рисунок 1.3), в технологическом процессе которой использованы струйные насосы в виде двух всасывающих устройств, состоящих из активного и пассивного сопел, установленных последовательно на напорном трубопроводе погружного электронасоса одно ниже динамического уровня воды в скважине для подсоса воды с целью увеличения подачи насосной установки, другое – выше динамического уровня для подсоса атмосферного воздуха с целью снижения потребного напора и повышение подачи за счёт создания в водоподъёмном трубопроводе водо-воздушной смеси с удельным весом в 1,5-2 раза меньше, чем удельный вес воды.

Достоинство – повышение подачи насосной установки на 30% и снижение потребного напора в 1,5 - 2 раза.

Недостатки – ограничено их использования в реальных условиях по минерализации воды (до 2 г/дм<sup>3</sup>) и содержанием в воде твёрдых частиц (песка) до 0,02% по массе.

Насосная установка состоит из погружного электронасоса 1 и установленного последовательно с ним струйного насоса 2 и устройства 3 для регулирования режима работы насосной установки, колонны насосно-компрессорных (водоподъёмных) труб 4, кабеля 5, опорного колена 6, крана 7, манометра 8 и задвижки 9 для регулирования и подачи воды потребителю.

Струйный насос 2 выполнен в виде всасывающего устройства 10, снабжённого активным соплом 11 с приёмной камерой 12, переходящей в камеру смешения 13 с диффузором 14 и углообразным пассивным соплом 15, соосно установленным внутри приёмной камеры 12 активного сопла 11. входное отверстие активного сопла 16 имеет связь с динамическим уровнем воды 17 в скважине 18 для её подсоса через пассивное 15 и активное 11 сопла в водоподъёмные трубы 4, повышая подачу насосной установки.



1-погружной электронасос; 2-струйный насос; 3-устройство для регулирования режима работы; 4-водоподъемные трубы; 5-кабель; 6-опорное колено; 7-кран; 8-манометр; 9-задвижка; 10-всасывающее устройство; 11-активное сопло; 12-приёмная камера; 13-камера смещения; 14-диффузор; 15- углообразное пассивное сопло; 16-входное отверстие; 17-динамический уровень воды; 18-скважина; 19-подводной трубопровод; 20-обратный клапан; 21-эластичное уплотнение; 22-металлическая обойма; 23-седло; 24- направляющая; 25-накидная гайка; 26-шплинт; 27-корпус клапана; 28-ограничитель хода.

Рисунок 1.3 – Конструктивно-технологическая схема насосной установки для подъёма воды из водозаборных скважин с использованием погружного электронасоса и всасывающих устройств

Устройство 3 для регулирования режима работы насосной установки выполнено в виде последовательно установленного аналогичного всасывающему устройству 10, снабжённому подводным трубопроводом 19 и обратным клапаном 20. При этом входное отверстие 16 пассивного сопла 15 имеет связь с атмосферным воздухом межтрубного пространства скважины 18 для его подсоса через пассивное 15 и активное 11 сопла в водоподъёмные трубы 4, уменьшая удельный вес поднимаемой воды. Устройство 3 в нижней части имеет подводной трубопровод 19, обеспечивающий гарантирующую связь входного отверстия 16 его пассивного сопла 15 с атмосферным воздухом скважины 18, который соединён со всасывающим устройством 10 струйного насоса 2.

В верхней части устройства 3 для регулирования режима работы насосной установки имеется обратный клапан 20, удерживающий столб воды в водоподъёмных трубах 4 при выключенном электропогружном насосе. Обратный клапан 20 выполнен тарельчатым с эластичным резиновым уплотнением 21 в металлической обойме 22 для контакта с седлом 23 проходного отверстия и крестообразными направляющими 24 для перемещения в осевом направлении, к которым крепится обойма 22 с эластичным резиновым уплотнением 21 посредством накидной глухой гайки 25 к резьбовой его части с фиксацией от выкручивания при помощи шплинта 26, а корпус 27 снабжён ограничителем хода 28.

Известны технологические схемы мелиоративной насосной станции с установкой струйного насоса на всасывающем (рисунок 1.4) и напорном (рисунок 1.5) трубопроводах центробежных насосов (ФГБОУ ВПО «Новочеркасская государственная мелиоративная академия», Александров В.В.) [44-46].

Технологическая схема насосной станции с установкой струйного насоса на всасывающем трубопроводе (рисунок 1.4) состоит из центробежного насоса 1, струйного насоса 2, приподнятого всасывающего колена, задвижки с электроприводом, мановакуумметра 5, задвижек 4,8,10, всасывающего трубопровода 7, напорного трубопровода 9 и бака 11.

Предложенная технологическая схема с установкой струйного насоса на всасывающем трубопроводе центробежных насосов позволяет увеличить высоту их всасывания. Основной недостаток данной технологической схемы сложность её реализации в реальных условиях.

Технологическая схема насосной станции с установкой струйного насоса на нагнетательном трубопроводе (см.рисунок 1.5) состоит из центробежного насоса 1, струйного насоса 2, всасывающих трубопроводов 3,9 центробежного и струйного насосов, задвижки 4 на напорном трубопроводе центробежного насоса, вакуумметра 5, манометров 7,8 на напорном патрубке центробежного насоса и на напорном трубопроводе струйного насоса.



Центробежный 1 и струйный 2 насосы работают последовательно, при этом струйный насос 2 работает не с вакуумом на всасывающей линии, а с подпором.

Предложенная технологическая схема с установкой струйного насоса на напорном трубопроводе центробежных насосов позволяет за счёт использования избыточного напора увеличить общую подачу насосной станции на 20%.

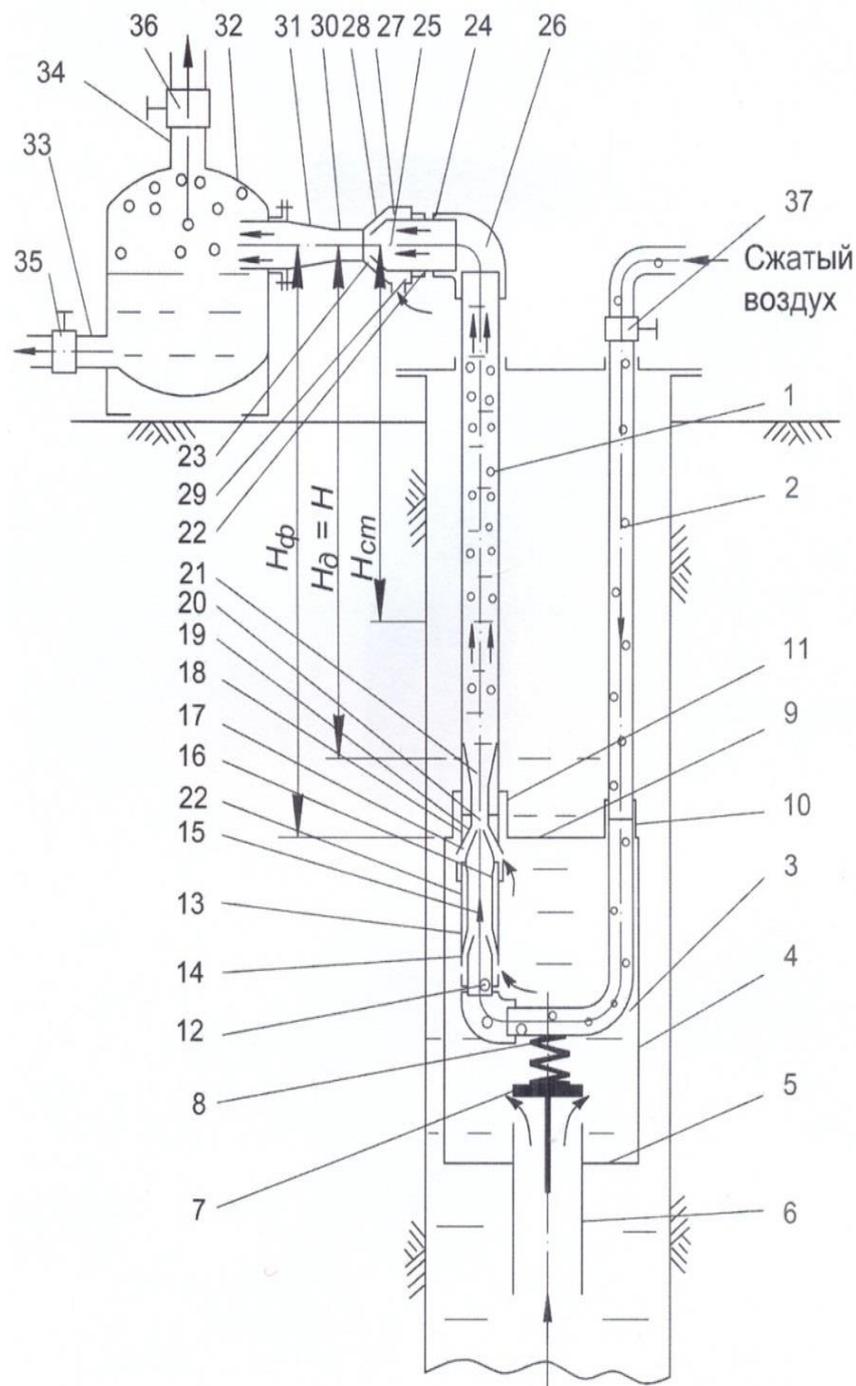
Основной недостаток данной технологической схемы – сложность её реализации в реальных условиях.

Известна разработка по пневмовакуумной (эрлифтной) технологии водоподъёма из скважин сжатым воздухом с использованием струйных насосов в виде двух последовательно соединённых в насосной части всасывающих устройств, активного и пассивного сопел для подсоса воды в форсунку-смеситель, которые позволяют уменьшить заглубление насосной части под динамический уровень воды, рисунок 1.6 [10, 11, 67-69].

Пневмовакуумный водоподъёмник состоит из водоподъёмной 1 и воздухопроводной 2 труб, соединённых между собой в нижней части форсункой 3, включающей корпус - трубу 4, днище 5 со всасывающей трубой 6, впускное отверстие с седлом которой перекрывается обратным клапаном 7, подпружиненным пружиной сжатия 8, и крышку 9 с подсоединительными патрубками 10 и 11, с внутренней стороны которой, установлены активное сопло 12 в виде U-образного патрубка, входная часть которого соединена с воздухоподсоединительным патрубком 10, а выходная часть снабжена дополнительным пассивно-активным соплом 13 в виде конфузора 14, смесительной камеры 15, диффузора 16 и сопла 17, установленным соосно между его активным соплом 12 и пассивным соплом 18 водоподсоединительного патрубка 11 и взаимодействующим пассивной частью 14 с активным соплом 12 U-образного патрубка, а активной частью 17 с пассивным соплом 18 водоподсоединительного патрубка 11, выполненного в виде конфузора 19 со смесительной камерой 20 и диффузором 21. При этом активные сопла по отношению к пассивным соплам установлены соосно и выполнены регулируемые в осевом направлении посредством резьбового соединения 22.

Водоподъёмная труба 1 в верхней части снабжена эжектором 23, подающим патрубок 24 с активным соплом 25, которой через угольник 26 соединён с верхней частью водоподъёмной трубы 1 и выполнен с возможностью регулирования с осевым перемещением посредством резьбового соединения 22. При этом всасывающий патрубок 27 пассивного сопла 28 сообщён в зоне образования вакуума через отвод 29 с атмосферным воздухом.

Пассивное сопло 28 всасывающего патрубка 27 эжектора 23 через смесительную камеру 30 с диффузором 31 сообщено с водо-воздухоприёмной ёмкостью 32, имеющей водоотводной 33 и воздухо-сбросной 34 патрубки с вентилями 35 и 36.



1, 2 – водоподъемная и воздухопроводная трубы; 3 – форсунка-смеситель; 4 – корпус-труба; 5 – днище; 6 – труба всасывающая; 7 – обратный клапан; 8 – пружина; 9 – крышка; 10, 11 – патрубки; 12, 17, 25 – активные сопла; 13 – дополнительное пассивно-активное сопло; 14, 19 – конфузоры; 15, 20, 30 – смесительные камеры; 16, 21, 31 – диффузоры; 18, 28 – сопла пассивные; 22 – резьбовое соединение; 23 – эжектор; 24 – падающий патрубок; 26 – угольник; 27 – всасывающий патрубок; 29 – отвод; 32 – водовоздухоприёмная ёмкость; 33, 34 – патрубки водоотводной и воздухосбросной; 35, 36, 37 – вентили;  $H_f$  – глубина погружения форсунки-смесителя;  $H$ ,  $H_d$  – высота водопъёма, динамический уровень воды в скважине;  $H_{ст}$  – статический уровень воды в скважине.

Рисунок 1.6- Принципиальная схема пневмовакuumной (эрлифтной) насосной установки

Патентные исследования и обзор работ многих исследователей показали, что струйные насосы и всасывающие устройства широко используются в практике. Например, в водоструйных насосных установках при подъёме воды центробежными насосами из скважин и шахтных колодцев (для создания полезной подачи, увеличения высоты всасывания центробежных насосов и использования избыточного напора для увеличения в целом подачи насосной установки [8, 24-31, 33, 34, 38-40] и для повышения коэффициента эжекции) [35, 36]. В напорно-вакуумной насосной установке с приводом от гидроэнергии воды водотока используется вакуум – для увеличения подачи и высоты водоподъёма [41-45]. В насосных установках при технологии подъёма воды из шахтных колодцев и скважин пневмокамерными и эрлифтными насосными установками используется для ускорения заполнения вытеснительной камеры поднимаемой воды и подсоса воды в форсунку-смеситель для уменьшения заглубления насосной части под динамический уровень воды [46-49]; в струйном тепловом модуле – для ускорения процесса нагрева воды по альтернативной технологии за счёт циркуляции воды центробежным насосом по замкнутому контуру [50];

Некоторые элементы новизны, полученные при обзоре работ и патентных исследованиях, использованы в диссертационной работе, в частности вакуумные устройства для подсоса воды из скважины, с целью увеличения подачи насосной установки и снижения потребного напора.

## **1.2 Обоснование технологии водоподъёма из скважин с использованием усовершенствованной гидроструйной насосной установки**

На основании обзора работ и патентных исследований установлено, что гидроструйные насосные установки разрабатывались по традиционной технологии водоподъёма с использованием струйного насоса с подсосом воды для создания полезной подачи насосной установки [2-6, 24-27].

Разработки были в основном направлены на совершенствование технологической схемы и конструкции лишь струйного насоса [12-15, 34-42]. Однако другие типы насосных установок для подъёма воды из скважин и шахтных колодцев разрабатывались по альтернативным технологиям водоподъёма – это насосная установка для подъёма воды из водозаборных скважин с использованием погружного электронасоса и всасывающих устройств [9, 50-57] и пневмовакuumная (эрлифтная) насосная установка [10, 11, 66-69], которые могут значительно повысить эффективность сельскохозяйственного и пастбищного водоснабжения на объектах АПК РК.

Преимущества альтернативной технология водоподъёма – повышение подача насосной установки на 20...30%, снижение потребного напора и потребляемой мощности насосной установки в 1,5 – 2 раза и повышение КПД насосной установки в 1,3-3,1 раза.

Недостатки – технология водоподъёма новая, требует проведения прикладных исследований, которые устраняются при завершении разработки.

Из сравнительной оценки двух технологий водоподъема из скважин гидроструйными насосными установками, преимущество альтернативной технологии водоподъема очевидно: она значительно улучшает параметры насосной установки и даёт экономический эффект потребителю до 888 тыс.тенге на одну насосную установку, повышая эффективность сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

На этом основании автором было принято направление исследований по альтернативной технологии водоподъема с использованием усовершенствованной гидроструйной насосной установки и определены основные задачи исследований:

- направление исследований, обзор работ и патентные исследования по технологии подъема воды с использованием гидроструйной насосной установки и струйных насосов;

- разработка технологии водоподъема для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ с использованием гидроструйной насосной установки и струйных насосов, создающих полезную подачу посредством подсоса воды и атмосферного воздуха в водоподъемный трубопровод, и конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки;

- теоретические предпосылки по технологическому процессу предложенной технологии водоподъема и протекающим процессам в струйных насосах;

- разработка методики обоснования по определению исходных, технологических и технических параметров гидроструйной насосной установки;

- разработка экспериментального образца гидроструйной насосной установки и проведение экспериментальных исследований и лабораторных испытаний;

- технико-экономическое обоснование выполненной разработки по гидроструйной насосной установке.

### **1.3 Усовершенствованная конструктивно-технологическая схема гидроструйной насосной установки**

#### **1.3.1 Классификация гидроструйных насосных установок**

Анализ выполненных работ по технологиям водоподъема из подземных водоисточников гидроструйными насосными установками и разработанных по ним конструкций показал, что классификация гидроструйных насосных установок разработчиками не проводилась.

Ниже приведена в первом приближении разработанная нами классификация гидроструйных насосных установок (рисунок 1.7).

По технологии водоподъема и конструктивно-технологическим схемам их исполнения гидроструйные насосные установки разделены, отличительным техническим и технологическим способам водоподъема на типы, число

которых на данном этапе равно четырем, причем каждый из них состоит из подтипов и подподтипов:

- технология водоподъема: традиционная и альтернативная;
- исполнение схемы водоподъема: конструктивно-технологическая традиционная и конструктивно-технологическая альтернативная;
- исполнение конструктивно-технологической традиционной схемы водоподъема: напорный насос и струйный насос;
- исполнение конструктивно-технологической альтернативной схемы водоподъема: напорный насос, струйный насос с подсосом воды и струйный насос с подсосом атмосферного воздуха ;
- исполнение напорного насоса: центробежный насос на поверхности земли, погружной электронасос внутри водоисточника и трубопровод;
- исполнение трубопровода: водонагнетаемый, водоподъемный и отводной;
- исполнение струйного насоса: с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха;
- способ установки струйного насоса: на всасывании и на нагнетании центробежного насоса;
- способ подачи водной среды в струйный насос: непрерывная подача импульсная подача и с закруткой потока водной среды;
- способ закрутки потока водной среды: тангенсальный и винтовой
- подача воды по водоподъемному трубопроводу: водная среда и водо-воздушная смесь;
- отвод воды потребителю: из водоподъемного трубопровода и из ёмкости по отводному трубопроводу.

Эта классификация позволяет, в зависимости от поставленной задачи, правильно выбрать необходимую конструктивно-технологическую схему, тип струйного насоса и его исполнение при разработке необходимых типоразмеров гидроструйной насосной установки.

### **1.3.2 Обоснование конструктивно технологической схемы гидроструйной насосной установки**

Обоснование усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки выполнено на основании материалов обзора работ, патентных исследований, анализа существующих принципиальных схем насосной части, а также предложенных новых технических решений [6] и принятого направления исследования. Конструктивно-технологическая схема должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- выполнение технологического процесса по альтернативной технологии водоподъема с использованием новых типов струйных насосов, повышающих полезную подачу насосной установки, КПД, коэффициент эжекции и снижающих потребный напор;

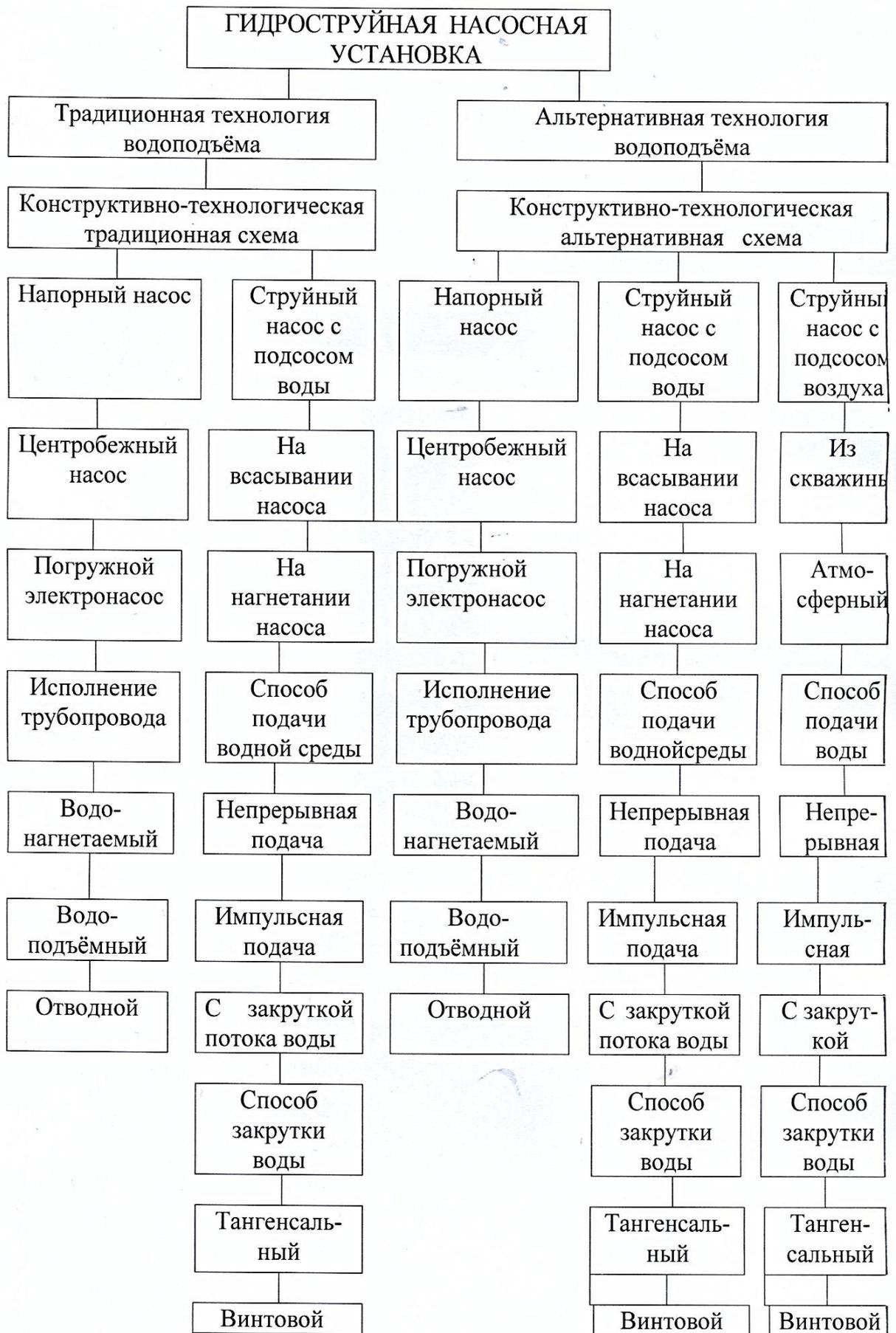


Рисунок 1.7 - Классификация гидроструйных насосных установок

- использование для технологического процесса водоподъема эффектов создаваемого вакуума в струйных насосах для подсоса воды и атмосферного воздуха и транспортирования по водоподъемным трубам водо-воздушной смеси с оптимальным её удельным весом;

- возможность транспортирования воды после ее подъема из водоисточника к потребителю, удаленному от водоисточника;

- применение наиболее прогрессивных направлений технических решений исполнительных узлов для выполнения основных процессов;

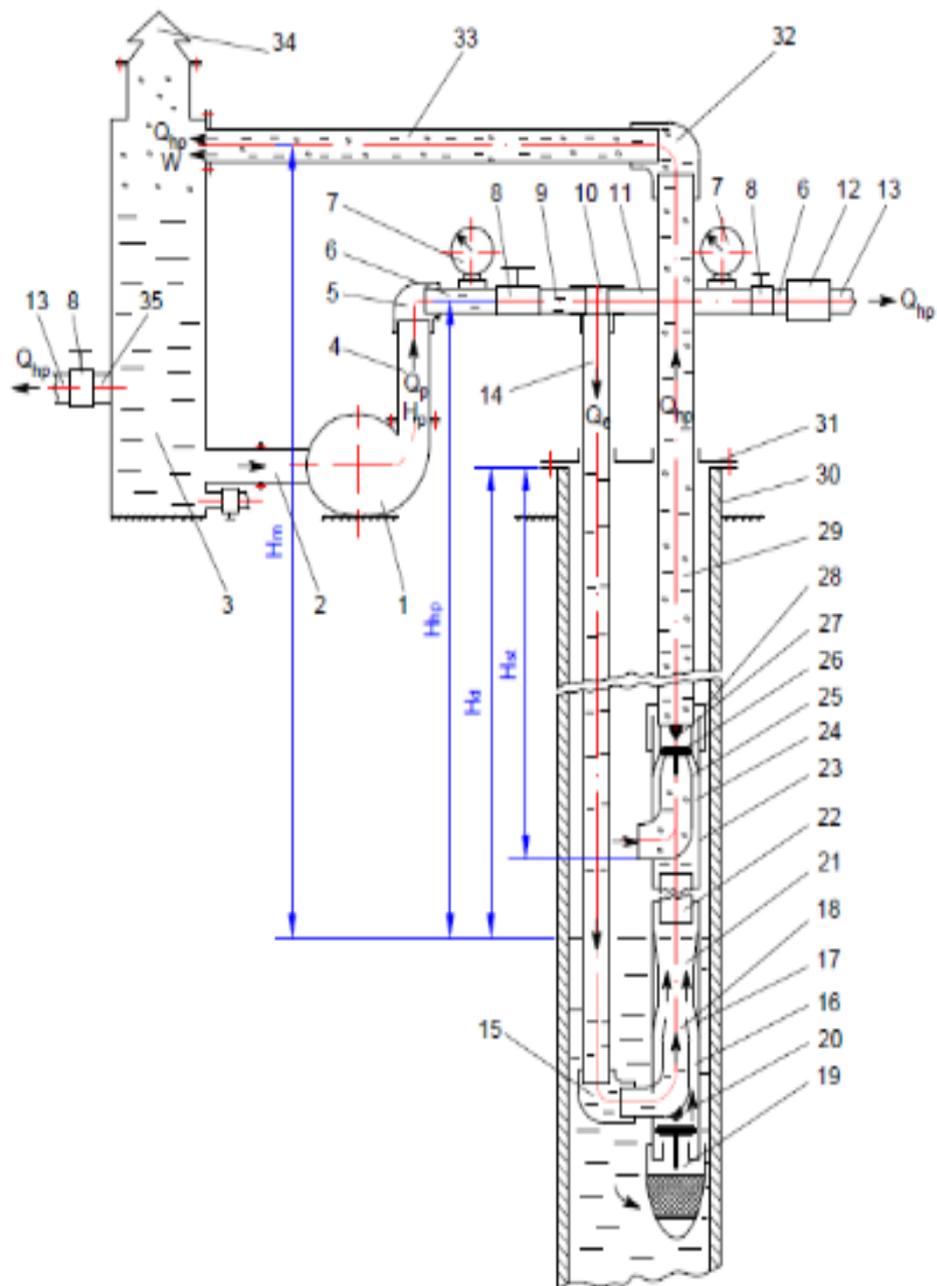
- простота технических решений основных узлов и достаточность их надежности.

На основании принятых требований разработана усовершенствованная конструктивно-технологическая схема гидроструйной насосной установки, которая представлена на рисунке 1.8.

Конструктивно-технологическая схема усовершенствованной гидроструйной насосной установки для водоподъема из скважин в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ состоит из центробежного насоса 1, всасывающего патрубка 2, водо-воздухоприёмной ёмкости 3, напорного патрубка насоса 4, угольника напорного патрубка 5, патрубка манометра 6, манометра 7, задвижки 8, патрубка задвижки 9, тройника 10, отводного патрубка тройника 11, обратного клапана 12, отводного трубопровода для потребителя 13, нагнетаемого трубопровода 14, угольника соединительного 15, струйного водоподсасывающего насоса 16, сопла активного струйного насоса 17, сопла пассивного струйного насоса 18, клапана всасывающего с фильтром 19, ограничителя хода всасывающего клапана 20, смесительной камеры с диффузором 21, трубки соединительной 22, струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха 23, активного сопла 24, пассивного сопла 25, обратного клапана пассивного сопла 26, ограничителя хода обратного клапана 27, муфты соединительной 28, трубопровода подъема водовоздушной смеси 29, скважины 30, оголовка скважины 31, угольника соединительного 32, соединительного патрубка ёмкости 33, крышки ёмкости воздухоотводной 34 и отводного патрубка 35 ёмкости с задвижкой 8 и отводным трубопроводом 13 для потребителя при водозаборе из ёмкости 3.

Конструктивно-технологическая схема усовершенствованной гидроструйной насосной установки является универсальной и может использоваться для двух вариантов технологического процесса водоподъема: вариант 1 - для сельскохозяйственного водоснабжения при напорной подаче потребителю, например в водонапорную башню по альтернативной технологии водоподъема; вариант 2 – для обводнения пастбищ, не требующих напорной подачи потребителю, по альтернативной технологии водоподъема при водозаборе из ёмкости для заполнения резервуаров водопойного пункта.

Технологический процесс. Запускается центробежный насос 1 при заполненной водой ёмкости 3 и открытием задвижки 8 напорного патрубка насоса вода подаётся в трубопровод водонагнетательный 14,



1 - центробежный насос; 2-всасывающий патрубок; 3- водовоздухоприёмная ёмкость; 4- напорный патрубок насоса; 5 угольника напорного патрубка; 6- патрубка манометра; 7- манометр; 8- задвижка; 9- патрубка задвижки; 10- тройник; 11- отводного патрубка тройника; 12-обратный клапан; 13- отводной трубопровод для потребителя; 14- нагнетаемый трубопровод; 15-угольник соединительный; 16-струйный водоподсасывающий насос; 17- сопло активное; 18-сопло пассивное; 19-клапан всасывающий с фильтром; 20-ограничитель хода всасывающего клапана; 21-смесительная камеры с диффузором; 22- трубка соединительная; 23- струйный насос с подсосом атмосферного воздуха; 24- активное сопло; 25-пассивное сопло; 26-обратный клапан пассивного сопла; 27- ограничитель хода обратного клапана; 28- муфта соединительная; 29 - водоподъёмный трубопровод; 30-скважина; 31- оголовок скважины; 32- угольник соединительный; 33- соединительный патрубок ёмкости; 34-крышка ёмкости воздухоотводная; 35-отводной патрубок ёмкости.

Рисунок 1.8 - Конструктивно-технологическая схема усовершенствованной гидроструйной насосной установки для водоподъёма из скважин в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ

при этом задвижка 8 подачи воды потребителю находится в закрытом положении. Вода под напором, проходя через активные сопла 18 и 24 струйных насосов 16 и 23, создаёт в пассивных соплах 17 и 25 разрежение, в результате чего вода и атмосферный воздух из скважины 30 по всасывающим отверстиям пассивных сопел подаются в трубопровод 29 подъёма водо-воздушной смеси, увеличивая подачу и уменьшая в них удельный вес поднимаемой воды до оптимального значения  $\gamma_{см.опт} = 4900-5000 \text{ Н/м}^3$ . Водо-воздушная смесь из трубопровода 29 через соединительный угольник 32 и патрубок 33 подаётся в ёмкость 3, где атмосферный сжатый воздух отделяется от воды и выходит через воздухоотводную крышку 34 в атмосферу. После установившегося режима работы насосной установки: для варианта 1 при напорной подачи потребителю задвижкой 8 по манометру 7 устанавливается подача потребителю через обратный клапан 12 и отводной трубопровод 13; для варианта 2 при обводнении пастбищ открытием задвижки 8 отводного патрубка ёмкости 35 подаётся вода потребителю по отводному трубопроводу, при этом должна быть отключена напорная подача потребителю. При повторном запуске насосной установки, технологический процесс повторяется. Во время остановки технологического процесса вода в трубопроводах удерживается обратными клапанами 19, 26 и 12.

### **Выводы по разделу 1**

1. На основании результатов проведённых патентных исследований, обзора работ и собственных исследований, разработана усовершенствованная конструктивно-технологическая схема гидроструйной насосной установки, которая работает по альтернативной технологии водоподъёма и является универсальной с точки зрения использования ее для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

2. Разработанная конструктивно–технологическая схема гидроструйной насосной установки обладает новизной и отличительными признаками, по сравнению с аналогами, основной узел которой - струйный насос защищен патентом на изобретение КЗ № 33182, на конструкцию общей схемы подана заявка на патент изобретения КЗ.

3. Для удобства работы при выборе водоподъемных устройств предложена классификация гидроструйных насосных установок;

3. Разработанные образцы гидроструйной насосной установки позволят улучшить их технологические параметры, направленные на увеличение подачи в 2-4 раза, снизить потребный напор в 1,5-2 раза и увеличить КПД в 1,1-2 раза.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВОДОПОДЪЁМА ИЗ СКВАЖИН

### 2.1 Методика проведения теоретических исследований по технологическому процессу водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установки

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 [78,79].

Целью проведения теоретических исследований являлось вывод формул и новых зависимостей для обоснования основных технологических параметров усовершенствованной гидроструйной насосной установки, работающей по альтернативной технологии водоподъёма из подземных водоисточников, и технических параметров струйных насосов для подсоса воды и атмосферного воздуха [3, 7, 9, 24-27].

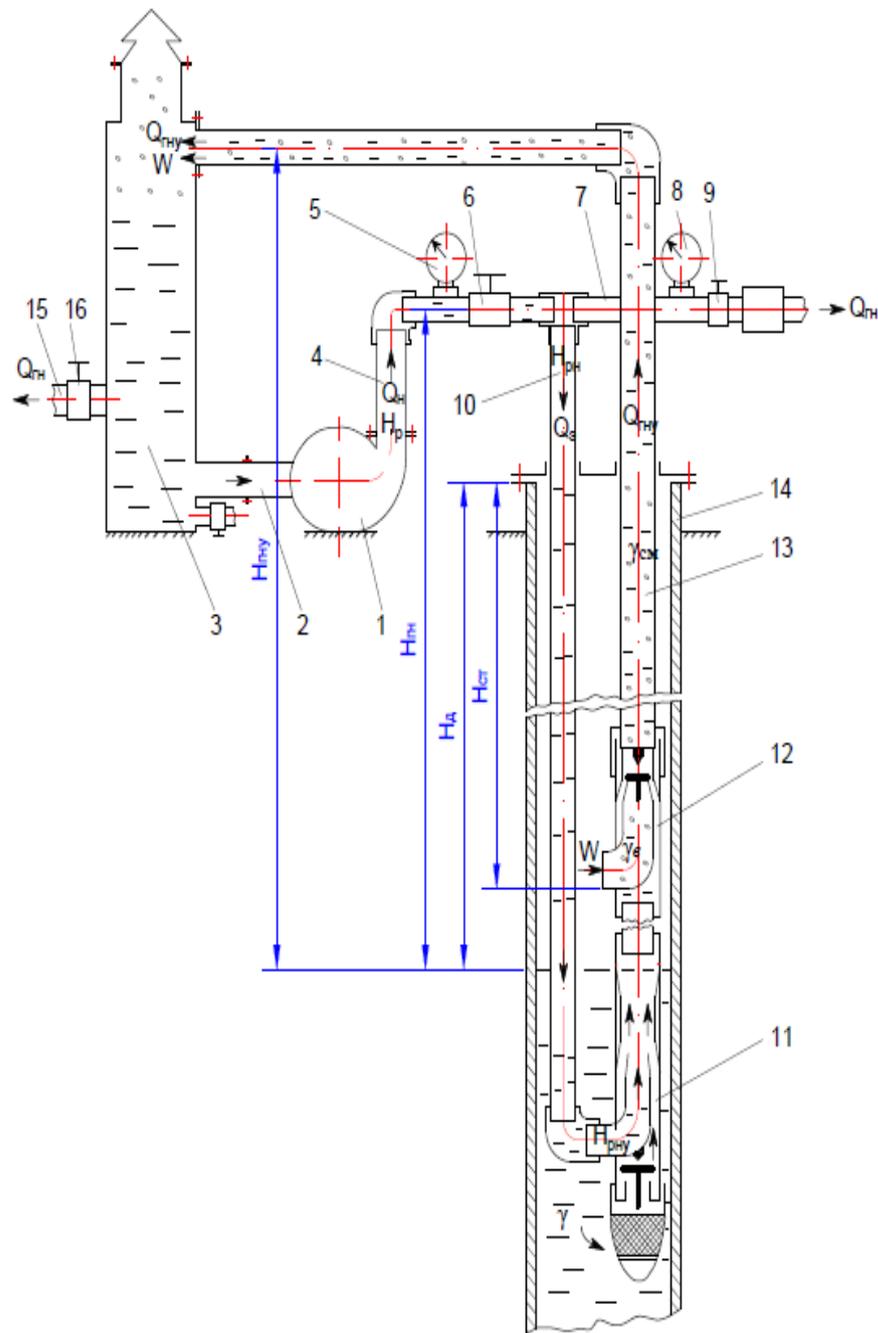
Для вывода теоретических формул по обоснованию технологических параметров усовершенствованной гидроструйной насосной установки, разрабатывалась методика, которая заключалась в определении аналитических зависимостей между основными входными параметрами (рисунок 2.1): подачи центробежного насоса  $Q_n$  и создаваемого им напора  $H_p$  и выходными параметрами: подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{гн}$  и общей  $Q_{гн\text{у}}$ , коэффициента эжекции  $K_{э1}$  струйного насоса с подсосом воды, расхода воды центробежного насоса на эжектирование  $Q_э$  струйного насоса с подсосом воды, напора  $H_{гн\text{у}}$  насосной установки, удельного веса  $\gamma_{см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах, полезной  $N_p$  и затраченной  $N_{гн\text{у}}$  мощности и КПД  $\eta_{гн\text{у}}$ , а также параметров струйных насосов: вакуумных напоров  $H_{\text{вак}1}$ , внутренних диаметров активного  $D_{\text{ca}1}$  и пассивного  $D_{\text{сп}1}$  сопел, скорости движения воды в активном  $v_{\text{ca}1}$  и пассивном  $v_{\text{сп}1}$  соплах [2, 3, 9, 78].

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).

Для определения указанных основных выходных параметров рассматривались следующие функциональные зависимости:

1. По определению полезной подачи гидроструйной насосной установки  $Q_{1гн1}$  и общей  $Q_{1гн\text{у}1}$  подачи от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1:

$$Q_{1гн1} = f(K_{1э1}, Q_n, Q_{1э1}, v_{1сп1}, D_{1сп1}, v_{1ca1}, D_{1ca1}), \quad (2.1)$$



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;  $Q_{гн}$ ,  $Q_{гну}$ -подача полезная и общая гидроструйной насосной установки;  $Q_э$ -расход подачи на эжектирование;  $H_p, H_{рн}, H_{рну}$  –напор центробежного насоса, гидроструйного насоса и насосной установки;  $H_{гн}, H_{гну}$  – высота водоподъёма гидронасоса и насосной установки;  $H_{ст}$ ,  $H_{д}$  – уровень воды в скважине статический и динамический.

Рисунок 2.1- Технологическая схема усовершенствованной гидроструйной насосной установки

$$Q_{1гнy1} = f (K_{1э1}, Q_{н}, Q_{1гн1}, Q_{1э1}, v_{1сп1}, D_{1сп1}, v_{1ca1}, D_{1ca1}), \quad (2.2)$$

где  $K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 технологической схемы;

$Q_{н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки;

$Q_{э}$  – расход воды центробежного насоса на эжектирование струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 технологической схемы;

$v_{сп1}, v_{1ca1}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса для подсоса воды для варианта 1 технологической схемы;

$D_{сп1}, D_{1ca1}$  - внутренний диаметр пассивного и активного сопел струйного насоса для подсоса воды для варианта 1 технологической схемы.

2. По определению полезной подачи гидроструйной насосной установки  $Q_{2гн1}$  и общей  $Q_{2гнy1}$  подачи от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 технологической схемы:

$$Q_{2гн1} = f (K_{2э1}, Q_{н}, Q_{2э1}, v_{2сп1}, D_{2сп1}, v_{2ca1}, D_{2ca1}), \quad (2.3)$$

$$Q_{2гнy1} = f (K_{2э1}, Q_{н}, Q_{2гн1}, Q_{2э1}, v_{2сп1}, D_{2сп1}, v_{2ca1}, D_{2ca1}), \quad (2.4)$$

3. По определению напора  $H_{1гнy1}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1:

$$H_{1гнy1} = f (H, H_{1р1}, Q_{1гнy1}, h_{\ell 1}, h_{m1}), \quad (2.5)$$

где  $H$  – высота водоподъёма;

$H_{1р1}$  - напор центробежного насоса гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$Q_{1гнy1}$  - полезная подача гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$h_{\ell 1}, h_{m1}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом воды для варианта 1.

4. По определению напора  $H_{2гнy1}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2:

$$H_{2гнy1} = f (H, H_{2р1}, Q_{2гнy1}, h_{\ell 2}, h_{m2}), \quad (2.6)$$

где  $H$  – высота водоподъёма;

$H_{2р1}$  - напор центробежного насоса гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$Q_{2гнy1}$  - полезная подача гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$h_{\ell 2}, h_{m2}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом воды

для варианта 2.

5. По определению полезной подачи гидроструйной насосной установки  $Q_{1гн}$  и общей  $Q_{1гн\text{у}}$  подачи от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1:

$$Q_{1гн} = f(K_{1э}, Q_{н}, Q_{1э}, v_{1сп1}, D_{1сп1}, v_{1ca1}, D_{1ca1}, v_{1сп2}, D_{1сп2}, v_{1ca2}, D_{1ca2}), \quad (2.7)$$

$$Q_{1гн\text{у}} = f(K_{1э}, Q_{н}, Q_{1гн}, Q_{1э}, v_{1сп1}, D_{1сп1}, v_{1ca1}, D_{1ca1}, v_{1сп2}, D_{1сп2}, v_{1ca2}, D_{1ca2}), \quad (2.8)$$

где  $K_{1э}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 технологической схемы;

$Q_{н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки;

$Q_{1э}$  – расход воды центробежного насоса на эжектирование струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 технологической схемы;

$v_{1сп1}, v_{1ca1}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса для подсоса воды для варианта 1 технологической схемы;

$D_{1сп1}, D_{1ca1}$  - внутренний диаметр пассивного и активного сопел струйного насоса для подсоса воды для варианта 1 технологической схемы.

$v_{1сп2}, v_{1ca2}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса для подсоса атмосферного воздуха для варианта 1 технологической схемы;

$D_{1сп2}, D_{1ca2}$  - внутренний диаметр пассивного и активного сопел струйного насоса для подсоса атмосферного воздуха для варианта 1 технологической схемы.

6. По определению полезной подачи гидроструйной насосной установки  $Q_{2гн1}$  и общей  $Q_{2гн\text{у}1}$  подачи от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2 технологической схемы:

$$Q_{2гн} = f(K_{2э}, Q_{н}, Q_{2э}, v_{2сп1}, D_{2сп1}, v_{2ca1}, D_{2ca1}, v_{2сп2}, D_{2сп2}, v_{2ca2}, D_{2ca2}), \quad (2.9)$$

$$Q_{2гн\text{у}1} = f(K_{2э}, Q_{н}, Q_{2гн}, Q_{2э}, v_{2сп1}, D_{2сп1}, v_{2ca1}, D_{2ca1}, v_{2сп2}, D_{2сп2}, v_{2ca2}, D_{2ca2}), \quad (2.10)$$

где  $K_{2э}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 технологической схемы;

$Q_{н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки;

$Q_{2э}$  – расход воды центробежного насоса на эжектирование струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 технологической схемы;

$v_{2сп1}, v_{2ca1}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса для подсоса воды для варианта 2 технологической схемы;

$D_{2сп1}, D_{2ca1}$  - внутренний диаметр пассивного и активного сопел струйного насоса для подсоса воды для варианта 2 технологической схемы.

$v_{2сп2}, v_{2ca2}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса для подсоса атмосферного воздуха для варианта 2 технологической схемы;

$D_{2сп2}, D_{2ca2}$  - внутренний диаметр пассивного и активного сопел струйного

насоса для подсоса атмосферного воздуха (для варианта 2) технологической схемы.

7. По определению напора  $H_{1гн\text{у}}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1:

$$H_{1гн\text{у}} = f(H, H_{1р}, Q_{1гн\text{у}}, h_{\ell 1}, h_{m1}, h_{\ell 2}, h_{m2}), \quad (2.11)$$

где  $H$  – высота водоподъёма;

$H_{1р1}$  - напор центробежного насоса гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$Q_{1гн\text{у}1}$  - полезная подача гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$h_{\ell 1}, h_{m1}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$h_{\ell 2}, h_{m2}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1.

8. По определению напора  $H_{2гн\text{у}}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2:

$$H_{2гн\text{у}} = f(H, H_{2р}, Q_{2гн\text{у}}, h_{\ell 1}, h_{m1}, h_{\ell 2}, h_{m2}), \quad (2.12)$$

где  $H$  – высота водоподъёма;

$H_{2р}$  - напор центробежного насоса гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$Q_{2гн\text{у}}$  - полезная подача гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$h_{\ell 1}, h_{m1}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$h_{\ell 2}, h_{m2}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2;

9. По определению удельного веса  $\gamma_{1см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1:

$$\gamma_{1см} = f(\gamma, \gamma_в, H, H_{1р}, H_{1гн\text{у}}, v_{ca2}, v_2, h_{\ell 1}, h_{m1}), \quad (2.13)$$

где  $\gamma, \gamma_в$  - удельный вес поднимаемой воды и сжатого атмосферного воздуха;

$H$  – высота водоподъёма гидроструйной насосной установки;

$H_{1p}$ ,  $H_{1гнy}$  - напор центробежного насоса и потребный напор гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1;

$v_{ca2}$ ,  $v_{сп2}$  - скорость движения воды в активном и пассивном соплах гидроструйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1;

$h_{\ell 1}$ ,  $h_{m1}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1.

10. По определению удельного веса  $\gamma_{2см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2:

$$\gamma_{2см} = f(\gamma, \gamma_e, H, H_{2p}, H_{2гнy}, v_{ca2}, v_{сп2}, h_{\ell 2}, h_{m2}), \quad (2.14)$$

где  $\gamma$ ,  $\gamma_e$  - удельный вес поднимаемой воды и сжатого атмосферного воздуха;

$H$  – высота водоподъёма гидроструйной насосной установки;

$H_{2p}$ ,  $H_{2гнy}$  - напор центробежного насоса и потребный напор гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2;

$v_{ca2}$ ,  $v_{сп2}$  - скорость движения воды в активном и пассивном соплах гидроструйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2;

$h_{\ell 2}$ ,  $h_{m2}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной системе при использовании струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2.

11. По определению полезной  $N_{1п}$  и затраченной  $N_{1гнy}$  мощности и КПД  $\Pi_{1гнy}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1:

$$N_{1п} = f(H_{1гн}, Q_{1гн}, \gamma_{1см}), \quad (2.15)$$

$$N_{1гнy} = f(N_{1п}, H_{1гн}, H_p, Q_{1гнy}, \gamma_{1см}, \Pi_{1гнy}), \quad (2.16)$$

$$\Pi_{1гнy} = f(N_{1п}, N_{1гнy}, \Pi_{1г}, \Pi_{1o}, \Pi_{1м}), \quad (2.17)$$

где  $H_{1гн}$  – высота водоподъёма гидроструйного насоса для варианта 1;

$Q_{1гн}$  - полезная подача гидроструйного насоса для варианта 1;

$Q_{1гнy}$  – подача гидроструйной насосной установки для варианта 1;

$N_{1п}$ ,  $N_{1гнy}$  – мощность полезная и мощность затраченная гидроструйной насосной установки для варианта 1;

$H_{1p}$  - напор центробежного насоса для варианта 1;

$\Pi_{1г}$ ,  $\Pi_{1o}$ ,  $\Pi_{1м}$  – КПД гидравлический, объёмный и механический центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1.

12. По определению полезной  $N_{2п}$  и затраченной  $N_{2гнү}$  мощности и КПД  $\Pi_{2гнү}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2:

$$N_{2п} = f(H_{2гн}, Q_{2гн}, \gamma_{2см}), \quad (2.18)$$

$$N_{2гнү} = f(N_{2п}, H_{2гн}, H_p, Q_{2гнү}, \gamma_{2см}, \Pi_{2гнү}), \quad (2.19)$$

$$\Pi_{2гнү} = f(N_{2п}, N_{2гнү}, \Pi_{2г}, \Pi_{2о}, \Pi_{2м}), \quad (2.20)$$

где  $H_{2гн}$  – высота водоподъёма гидроструйного насоса для варианта 2;

$Q_{2гн}$  - полезная подача гидроструйного насоса для варианта 2;

$Q_{2гнү}$  – подача гидроструйной насосной установки для варианта 2;

$N_{2п}$ ,  $N_{2гнү}$  – мощность полезная и мощность затраченная гидроструйной насосной установки для варианта 2;

$H_p$  - напор центробежного насоса для варианта 2;

$\Pi_{2г}$ ,  $\Pi_{2о}$ ,  $\Pi_{2м}$  – КПД гидравлический, объёмный и механический центробежного насоса  $Q_{1н}$  2.

13. По определению вакуумного напора  $H_{1вак1}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумного напора  $H_{1вак2}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1:

$$H_{1вак1} = f(P_a, H_b, P_{1са1}, P_{1сп1}, Q_{1н}, D_{1са1}, D_{1сп1}, v_{1са1}, v_{1сп1}, K_{1э}). \quad (2.21)$$

$$H_{1вак2} = f(P_a, P_{1са2}, P_{1сп2}, Q_{1н}, D_{1са2}, D_{1сп2}, v_{1са2}, v_{1сп2}, K_{1э}). \quad (2.22)$$

где  $P_a$ - атмосферное давление (на входе воды в пассивное сопло струйного насоса с подсосом воды);

$H_b$  – высота столба воды над всасывающим отверстием пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды;

$P_{1са1}$ ,  $P_{1сп1}$  – избыточное давление воды на выходе активного и пассивного сопел струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$P_{1са2}$ ,  $P_{1сп2}$  – избыточное давление воды на выходе активного и пассивного сопел струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1;

$Q_{1н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1;

$D_{1са1}$ ,  $D_{1сп1}$  - диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$D_{1са2}$ ,  $D_{1сп2}$  - диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1;

$v_{1са1}$ ,  $v_{1сп1}$  – скорость воды в активном и пассивном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$v_{1са2}$ ,  $v_{1сп2}$  – скорость воды в активном сопле и скорость атмосферного воздуха в пассивном сопле струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1;

$K_{1э}$  – коэффициент эжекции гидроструйной насосной установки для варианта 1;

14. По определению вакуумного напора  $H_{2вак1}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумного напора  $H_{2вак2}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2:

$$H_{2вак1} = f(P_a, H_B, P_{2ca1}, P_{2сп1}, Q_{2н}, D_{2ca1}, D_{2сп1}, v_{2ca1}, v_{2сп1}, K_{2э}). \quad (2.23)$$

$$H_{2вак2} = f(P_a, P_{2ca2}, P_{2сп2}, Q_{2н}, D_{2ca2}, D_{2сп2}, v_{2ca2}, v_{2сп2}, K_{2э}). \quad (2.24)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление (на входе воды в пассивное сопло струйного насоса с подсосом воды);

$H_B$  – высота столба воды над всасывающим отверстием пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды;

$P_{1ca1}, P_{1сп1}$  – избыточное давление воды на выходе активного и пассивного сопел струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$P_{2ca2}, P_{2сп2}$  – избыточное давление воды на выходе активного и пассивного сопел струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2;

$Q_{2н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 2;

$D_{2ca1}, D_{2сп1}$  – диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$D_{2ca2}, D_{2сп2}$  – диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2;

$v_{1ca1}, v_{1сп1}$  – скорость воды в активном и пассивном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$v_{2ca2}, v_{2сп2}$  – скорость воды в активном сопле и скорость атмосферного воздуха в пассивном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2;

$K_{2э}$  – коэффициент эжекции гидроструйной насосной установки для варианта 2.

15. По определению скоростей движения воды в активном  $v_{1ca1}$  и пассивном  $v_{1сп1}$  соплах струйного насоса с подсосом воды и скоростей движения воды в активном  $v_{1ca2}$  и атмосферного воздуха в пассивном  $v_{1сп2}$  соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха гидроструйной насосной установки для варианта 1:

$$v_{1ca1} = f(Q_{1н}, H_{1р}, D_{1ca1}, K_{1э}), \quad (2.25)$$

$$v_{1сп1} = f(Q_{1н}, H_{1р}, D_{1сп1}, K_{1э}), \quad (2.26)$$

$$v_{1ca2} = f(Q_{1н}, H_{1р}, D_{1ca2}, K_{1э}), \quad (2.27)$$

$$v_{1сп2} = f(Q_{1н}, H_{1р}, D_{1сп2}, K_{1э}), \quad (2.28)$$

где  $Q_{1н}$  - подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1;

$H_{1р}$  - напор центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1;

$D_{1са1}$ ,  $D_{1сп1}$  - диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$D_{1са2}$ ,  $D_{1сп2}$  - диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1;

$K_{1э}$  – коэффициент эжекции гидроструйной насосной установки для варианта 1.

16. По определению скоростей движения воды в активном  $v_{2са1}$  и пассивном  $v_{2сп1}$  соплах струйного насоса с подсосом воды и скоростей движения воды в активном  $v_{2са2}$  и атмосферного воздуха в пассивном  $v_{2сп2}$  соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха гидроструйной насосной установки для варианта 2:

$$v_{2са1} = f(Q_{2н}, H_{2р}, D_{2са1}, K_{2э}), \quad (2.29)$$

$$v_{2сп1} = f(Q_{2н}, H_{2р}, D_{2сп1}, K_{2э}), \quad (2.30)$$

$$v_{2са2} = f(Q_{2н}, H_{2р}, D_{2са2}, K_{2э}), \quad (2.31)$$

$$v_{2сп2} = f(Q_{2н}, H_{2р}, D_{2сп2}, K_{2э}), \quad (2.32)$$

где  $Q_{2н}$  - подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 2;

$H_{2р}$  - напор центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 2;

$D_{2са1}$ ,  $D_{2сп1}$  - диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$D_{2са2}$ ,  $D_{2сп2}$  - диаметр активного и пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2;

$K_{2э}$  – коэффициент эжекции гидроструйной насосной установки для варианта 2.

## **2.2 Теоретические предпосылки технологического процесса водоподъёма из скважин и протекающих процессов в струйных насосах**

### **2.2.1 Результаты выполненных теоретических предпосылок технологического процесс водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установкой**

Теоретические предпосылки по технологическому процессу водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установки выполнены по указанной выше методики и принятых функциональных зависимостей (2.1) – (2.23). На

основании теоретических исследований получены следующие формулы для определения технологических параметров согласно технологической схемы (рисунок 2.1).

Подача гидроструйной насосной установки полезная  $Q_{1гн1}$  и общая  $Q_{1гну1}$  от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 получены на основании следующего их вывода:

$$Q_{1гн1} = K_{1э1} \cdot Q_{1э}, \quad (2.33)$$

где  $K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды, который должен по принятой гипотезе для варианта 1 удовлетворять условию и уточняться экспериментально:

$$K_{1э1} = \frac{Q_{1гн1}}{Q_{1э}} \leq 0,5, \quad (2.34)$$

$Q_{1э}$  - расход воды центробежного насоса на эжектирование струйного насоса с подсосом воды для варианта 1,  $м^3/с$  :

$$Q_{1э} = Q_{1н} - Q_{1гн1}, \quad (2.35)$$

где  $Q_{1н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1,  $м^3/с$ .

Подставляя в (2.33) значение  $Q_{1э}$  из (2.35), получим

$$Q_{1гн1} = K_{1э1} \cdot (Q_{1н} - Q_{1гн1}) \quad (2.36)$$

Решая уравнение (2.36) относительно  $Q_{1гн1}$ , получим

$$Q_{1гн1} = K_{1э1} \cdot Q_{1н} - K_{1э1} \cdot Q_{1гн1}. \quad (2.37)$$

Сделав преобразование, имеем

$$Q_{1гн1} \cdot (1 + K_{1э1}) = K_{1э1} \cdot Q_{1н}, \quad (2.38)$$

откуда 
$$Q_{1гн1} = \frac{K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot Q_{1н}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.39)$$

где  $K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$Q_{1н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1,  $м^3/с$ .

Для варианта 1 вывод формулы для определения общей подачи  $Q_{1гну1}$  осуществляется следующим образом:

$$Q_{1\text{гн}y1} = Q_{1н} + Q_{1\text{гн}1}, \quad (2.40)$$

Подставляя в уравнение (2.40) значение  $Q_{1\text{гн}1}$  из (2.39), получим

$$Q_{1\text{гн}y1} = Q_{1н} + \frac{K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot Q_{1н}. \quad (2.41)$$

Выполнив преобразование формулы (2.41), имеем

$$Q_{1\text{гн}y1} = Q_{1н} \left( 1 + \frac{K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \right). \quad (2.42)$$

Окончательный вид формулы для определения общей подачи гидроструйной насосной установки имеет следующий вид для варианта 1:

$$Q_{1\text{гн}y1} = \frac{1+2K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot Q_{1н}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.43)$$

где  $K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды;  
 $Q_{1н}$  - подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Подача полезная  $Q_{1\text{гн}1}$  и подача общая  $Q_{1\text{гн}y1}$  гидроструйной насосной установки для варианта 1 могут быть определены при известных значениях скорости воды  $v_{1\text{сп}1}$  и внутреннего диаметра  $D_{1\text{сп}1}$  пассивного сопла гидроструйной насосной установки:

$$Q_{1\text{гн}1} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{1\text{сп}1}^2}{4} \cdot v_{1\text{сп}1}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.44)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода подсасываемой воды через пассивное сопло струйного насоса;

$D_{1\text{сп}1}$  - внутренний диаметр пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$v_{1\text{сп}1}$  - скорость воды в пассивном сопле струйного насоса с подсосом воды, м/с;

$$Q_{1\text{гн}y1} = Q_{1\text{гн}1} + Q_{1э} = Q_{1\text{гн}1} + \frac{Q_{1\text{гн}1}}{K_{1э1}} = \frac{1+K_{1э1}}{K_{1э1}} \cdot Q_{1\text{гн}1} = \frac{1+K_{1э1}}{K_{1э1}} \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{1\text{сп}1}^2}{4} \cdot v_{1\text{сп}1}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.45)$$

где  $Q_{1\text{гн}1}$  - подача полезная гидроструйной насосной установки,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$Q_{1э}$  - расход воды центробежного насоса на эжектирование струйного насоса с подсосом воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды;

$\mu$  - коэффициент расхода подсасываемой воды через пассивное сопло струйного насоса;

$D_{1\text{сп}1}$  - внутренний диаметр пассивного сопла струйного насоса с подсосом

ВОДЫ, М;

$v_{1cp1}$  - скорость воды в пассивном сопле струйного насоса с подсосом воды, м/с.

Подача полезная  $Q_{1гн1}$  и подача общая  $Q_{1гнy1}$  гидроструйной насосной установки для варианта 1 могут быть определены при известных значениях скорости воды  $v_{1ca1}$  и внутреннего диаметра  $D_{1ca1}$  активного сопла гидроструйной насосной установки для варианта 1.

Подача полезная  $Q_{1гн1}$  определена на основании формулы (2.39), заменив в ней  $Q_{1н}$  на её значение, выраженное через  $v_{1ca1}$  и  $D_{1ca1}$  активного сопла гидроструйной насосной установки:

$$Q_{1гн1} = \frac{K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{1ca1}^2}{4} \cdot v_{1ca1}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.46)$$

где  $K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды;

$\mu$  - коэффициент расхода подсосываемой воды через активное сопло струйного насоса;

$D_{1ca1}$  -внутренний диаметр активного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$v_{1ca1}$  - скорость воды в активном сопле струйного насоса с подсосом воды, м/с.

Подача общая  $Q_{1гнy1}$  определена на основании формулы (2.40), заменив в ней  $Q_{1н}$  на её значение, выраженное через  $v_{1ca1}$  и  $D_{1ca1}$  активного сопла гидроструйной насосной установки для варианта 1:

$$Q_{1гнy1} = \frac{1+2K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{1ca1}^2}{4} \cdot v_{1ca1}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.47)$$

где  $K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды;

$\mu$  - коэффициент расхода подсосываемой воды через активное сопло струйного насоса;

$D_{1ca1}$  -внутренний диаметр активного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$v_{1ca1}$  - скорость воды в активном сопле струйного насоса с подсосом воды м/с.

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{2гн1}$  и общая подача  $Q_{2гн}$  от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 принимается аналогично варианту 1 с разницей, что все параметры относятся к варианту 2:

$$Q_{2гн1} = K_{2э1} \cdot Q_{н}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.48)$$

$$Q_{2гнy1} = (1+K_{2э1}) \cdot Q_{н}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.49)$$

где  $Q_{н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки,

м<sup>3</sup>/ч;

$K_{2э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды, который должен по принятой гипотезе для варианта 2 удовлетворять условию и уточняться экспериментально:

$$K_{2э1} = \frac{Q_{гн}}{Q_{2э}} \leq 1,0, \quad (2.50)$$

Вывод формул по определению полезной подачи  $Q_{2гн1}$  и общей  $Q_{2гну1}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 технологической схемы выполнен согласно принятой функциональной зависимости (2.3) и (2.4) аналогично формулам (2.39) и (2.43) для варианта 1:

$$Q_{2гн1} = \frac{K_{2э1}}{1+K_{2э1}} \cdot Q_{2н}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.51)$$

$$Q_{2гну1} = \frac{1+2K_{2э1}}{1+K_{2э1}} \cdot Q_{2н}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.52)$$

где  $K_{2э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды;

$Q_{2н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки, м<sup>3</sup>/с.

Подача полезная  $Q_{2гн1}$  и подача общая  $Q_{2гну1}$  гидроструйной насосной установки для варианта 2 могут быть определены при известных значениях скорости воды  $u_{2сп1}$ ,  $u_{2са1}$  и внутреннего диаметра  $D_{2сп1}$  и  $D_{2са1}$  пассивного и активного сопел гидроструйной насосной установки аналогично формуле (2.44) и (2.45) для варианта 1:

$$Q_{2гн1} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{2сп1}^2}{4} \cdot u_{2сп1}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.53)$$

$$Q_{2гну1} = \frac{1+K_{2э1}}{K_{2э1}} \cdot \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{2сп1}^2}{4} \cdot u_{2сп1}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.54)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода подсосываемой воды через пассивное сопло струйного насоса;

$D_{2сп1}$ ,  $D_{2са1}$  - внутренний диаметр пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$u_{2сп1}$ ,  $u_{2са1}$  - скорость воды в пассивном сопле струйного насоса с подсосом воды, м/с;

$K_{2э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды.

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

$$Q_{1гн} = Q_n \cdot \left( \frac{K_{1з1}}{1+K_{1з1}} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.55)$$

$$Q_{1гн\gamma} = Q_n \cdot \left( \frac{1+2K_{1з1}}{1+K_{1з1}} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.56)$$

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

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

$$Q_{2гн} = Q_n \cdot \left( K_{2з1} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.57)$$

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

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

$$Q_{2гн\gamma} = Q_n \cdot \left( 1 + K_{2з1} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с} . \quad (2.58)$$

Формула потребного напора  $H_{1гн\gamma 1}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 согласно принятой функциональной зависимости (2.5) определяется на основании уравнения Бернулли, составленного относительно сечений действия входных и выходных параметров насосной части (1-1 и 2-2):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_{сa1}^2}{2g} = H + \frac{v_2^2}{2g} + h_{l1} + h_{m1}, \quad (2.59)$$

где  $H$  – высота водоподъёма, м;

$\frac{P_1}{\gamma} = H_{1гн\gamma 1}$  – потребный напор гидроструйной насосной установки для варианта 1, м;

$P_1$  – избыточное давление, создаваемое центробежным насосом в сечении 1-1 струйного насоса для варианта 1, Н/м<sup>2</sup>.

$v_{сa1}$  – скорость воды в сечении 1-1 активного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м/с;

$v_2$  – скорость воды в сечении 2-2 насосной части (на выходе из водоподъёмного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 1, м/с;

$h_{l1}, h_{m1}$  – потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной части при использовании струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м (которые определяются по известным формулам) [78, 79].

Решая уравнение (2.59) относительно  $\frac{P_1}{\gamma} = H_{1гнy1}$ , получили формулу для определения потребного напора гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды для варианта 1:

$$H_{1гнy1} = H_1 + \frac{v_2^2 - v_{ca1}^2}{2g} + h_{l1} + h_{m1}, \text{ м.} \quad (2.60)$$

где  $H_1$  – высота водоподъёма гидроструйной насосной установки для варианта 1, м:

$$H_1 = H_{гн} + h_{п}, \text{ м} \quad (2.61)$$

где  $H_{гн}$  - высота водоподъёма для гидронасоса (рис.2.1), м:

$$H_{гн} = H_g + h_o, \text{ м} \quad (2.62)$$

$h_{п}$  – высота от отводного водоподъёмного трубопровода до потребителя (водонапорной башни), м;

$H_g$  – динамический уровень воды в скважине, м;

$h_o$  – высота от оголовка скважины до отводного водоподъёмного трубопровода, м.

Формула потребного напора  $H_{2гнy1}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 согласно принятой функциональной зависимости (2.5) определяется аналогично формуле (2.60) для варианта 1:

$$H_{2гнy1} = H_{гнy} + \frac{v_3^2 - v_{ca1}^2}{2g} + h_{l2} + h_{m2}, \text{ м.} \quad (2.63)$$

где  $H_{гнy}$  - высота водоподъёма гидроструйной насосной установки для варианта 2 (рис.2.1), м;

$h_{l2}$ ,  $h_{m2}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной части при использовании струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, м (которые определяются по известным формулам) [78, 79].

$v_3$  - скорость воды в сечении 2-2 насосной части (на выходе из водоподъёмного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 2, м/с.

Формула потребного напора  $H_{1гнy}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1 согласно принятой функциональной зависимости (2.11) определяется на основании уравнения Бернулли, составленного относительно сечений действия входных и выходных параметров насосной части (1-1 и 2-2):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_{ca1}^2}{2g} = H_1 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{l1} + h_{1м}, \quad (2.64)$$

где  $\frac{P_1}{\gamma} = H_{1гн\text{у}}$  – потребный напор гидроструйной насосной установки для варианта 1, м;

$P_1$  – избыточное давление, создаваемое центробежным насосом в сечении 1-1 струйного насоса для варианта 1, Н/м<sup>2</sup>.

$v_{1ca1}$  – скорость воды в сечении 1-1 активного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м/с;

$v_2$  – скорость водо-воздушной смеси в сечении 2-2 насосной части ( на выходе из водоподъёмного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 1, м/с;

$H_1$  – высота водоподъёма для варианта 1 с одновременным использованием струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха, м.вод.ст.:

$$H_1 = \frac{H_{гн\text{у}}}{\gamma} \cdot \gamma_{см} + h_{п}, \text{ м} \quad (2.65)$$

где  $\gamma, \gamma_{см}$  – удельный вес воды и удельный вес поднимаемой водо-воздушной смеси, Н/м<sup>3</sup>;

$H_{гн\text{у}}$  – натуральная высота водоподъёма для гидроструйной насосной установки при водоподъёме водо-воздушной смеси в ёмкость (рис.2.1), м;

$h_{п}$  – высота от отводного водоподъёмного трубопровода до потребителя (водонапорной башни), м;

$h_{1л}, h_{1м1}$  – потери напора по длине водоподъёмных труб и местные потери в водоподъёмной части (при подъёме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 1, м определяемые по известным формулам) [78, 79].

Решая уравнение (2.64) относительно  $\frac{P_1}{\gamma} = H_{1гн\text{у}}$ , получили формулу по определению потребного напора гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1:

$$H_{1гн\text{у}} = H_1 + \frac{v_2^2 - v_{ca1}^2}{2g} + h_{1л} + h_{1м}, \text{ м.} \quad (2.66)$$

или

$$H_{1гн\text{у}} = \frac{H_{гн\text{у}}}{\gamma} \cdot \gamma_{см} + h_{п} + \frac{v_2^2 - v_{ca1}^2}{2g} + h_{1л} + h_{1м}, \text{ м.} \quad (2.67)$$

Формула потребного напора  $H_{2гн\text{у}}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2 согласно принятой функциональной зависимости (2.12) определяется на основании уравнения Бернулли, составленного относительно сечений действия входных и выходных параметров насосной части ( 1-1 и 2-2):

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_{ca1}^2}{2g} = H_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{2л} + h_{2м}, \quad (2.68)$$

где  $\frac{P_1}{\gamma} = H_{2\text{гнУ}}$  – потребный напор гидроструйной насосной установки для варианта 1, м;

$P_1$  – избыточное давление, создаваемое центробежным насосом в сечении 1-1 струйного насоса для варианта 2, Н/м<sup>2</sup>.

$v_{2\text{ca1}}$  – скорость воды в сечении 1-1 активного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, м/с;

$v_3$  – скорость водо-воздушной смеси в сечении 2-2 насосной части (на выходе из водоподъемного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 2, м/с;

$H_2$  – высота водоподъема для варианта 2 с одновременным использованием струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха, м.вод.ст.:

$$H_2 = \frac{H_{\text{гнУ}}}{\gamma} \cdot \gamma_{\text{см}}, \text{ м} \quad (2.69)$$

где  $\gamma$ ,  $\gamma_{\text{см}}$  – удельный вес воды и удельный вес поднимаемой водо-воздушной смеси, Н/м<sup>3</sup>;

$H_{\text{гнУ}}$  – натуральная высота водоподъема для гидроструйной насосной установки (в то числе для варианта 2, см. рис.2.1), м;

$h_{2\ell}$ ,  $h_{2\text{м1}}$  – потери напора по длине водоподъемных труб и местные потери в водоподъемной части (при подъеме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 2 м, определяются по известным формулам [78, 79]).

Решая уравнение (2.68) относительно  $\frac{P_1}{\gamma} = H_{2\text{гнУ}}$ , получили формулу для определения потребного напора гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2:

$$H_{2\text{гнУ}} = \frac{H_{\text{гнУ}}}{\gamma} \cdot \gamma_{\text{см}} + \frac{v_3^2 - v_{2\text{ca1}}^2}{2g} + h_{2\ell} + h_{2\text{м}}, \text{ м}. \quad (2.70)$$

Формула удельного веса  $\gamma_{1\text{см}}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха согласно принятой функциональной зависимости (2.13) для варианта 1 определена из формулы потребного напора (2.67), решив её относительно  $\gamma_{1\text{см}}$ :

$$\gamma_{1\text{см}} = \frac{\gamma}{H_{\text{гнУ}}} \cdot \left( H_{1\text{гнУ}} + \frac{v_{2\text{ca2}}^2 - v_2^2}{2g} - h_{\text{п}} - h_{1\ell} - h_{1\text{м}} \right), \text{ Н/м}^3 \quad (2.71)$$

где  $\gamma$ ,  $\gamma_{\text{см}}$  – удельный вес воды и поднимаемой водо-воздушной смеси, Н/м<sup>3</sup>;

$H_{\text{гн}}$  – высота водоподъема для гидронасоса (рис.2.1), м;

$h_{\text{п}}$  – высота от отводного водоподъемного трубопровода до потребителя

(водонапорной башни), м;

$H_{1гн\text{у}}$  - потребный напор гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1, м;

$v_{ca2}, v_2$  - скорость движения воды в активном сопле гидроструйного насоса с подсосом атмосферного воздуха и водовоздушной смеси на выходе из водоподъемного трубопровода для варианта 1, м/с;

$h_{1\ell}, h_{1м1}$  - потери напора по длине водоподъемных труб и местные потери в водоподъемной части (при подъеме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 1), определяются по известным формулам) [78, 79].

Формула удельного веса  $\gamma_{2см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха согласно принятой функциональной зависимости (2.14) для варианта 2 определена из формулы потребного напора (2.70), решив её относительно  $\gamma_{2см}$  :

$$\gamma_{2см} = \frac{\gamma}{H_{гн\text{у}}} \cdot \left( H_{2гн\text{у}} + \frac{v_{ca2}^2 - v_2^2}{2g} - h_{2\ell} - h_{2м} \right), \text{ Н/м}^3 \quad (2.72)$$

где  $\gamma$  - удельный вес поднимаемой воды, Н/м<sup>3</sup>;

$H_{гн\text{у}}$  - натуральная высота водоподъема для гидроструйной насосной установки

При подъеме в ,см. рис.2.1), м;

$H_{2гн\text{у}}$  - потребный напор гидроструйной насосной установки с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2, м;

$v_{ca2}, v_3$  - скорость движения воды в активном сопле гидроструйного насоса с подсосом атмосферного воздуха и водовоздушной смеси на выходе из водоподъемного трубопровода для варианта , м/с;

$h_{2\ell}, h_{2м}$  - потери напора по длине водоподъемных труб и местные потери в водоподъемной части (при подъеме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 2, определяются по известным формулам) [78, 79].

Формулы полезной  $N_{1п}$  и затраченной  $N_{1гн\text{у}}$  мощности и КПД  $\Pi_{1гн\text{у}}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1 определены согласно принятых функциональных зависимостей (2.15), (2.16) и (2.17) и известных формул по аналогичным насосным установкам [2, 4, 9, 10, 66]:

$$N_{1п} = 9,81 \cdot Q_{1гн} \cdot H_{1гн}, \text{ кВт} \quad (2.73)$$

$$N_{1гн\text{у}} = \frac{N_{1п}}{\Pi_{1гн\text{у}}} = \frac{9,81 \cdot Q_{1гн} \cdot H_{1гн}}{\Pi_{1гн\text{у}}}, \text{ кВт} \quad (2.74)$$

$$\Pi_{1гн\text{у}} = \frac{N_{1п}}{N_{1гн\text{у}}} = \frac{Q_{1гн} \cdot H_{1гн}}{Q_{1гн\text{у}} \cdot H_{1гн\text{у}}}, \quad (2.75)$$

ИЛИ

$$\eta_{1гн\text{у}} = \eta_{1г} \cdot \eta_{1о} \cdot \eta_{1м}, \quad (2.76)$$

где  $H_{1гн}$  – высота водоподъема гидроструйного насоса для варианта 1, м;  
 $Q_{1гн}$  – полезная подача гидроструйного насоса для варианта 1, м<sup>3</sup>/с;  
 9,81 переводной коэффициент размерности Вт в кВт;  
 $Q_{1гн\text{у}}$  – подача гидроструйной насосной установки для варианта 1, м<sup>3</sup>/с;  
 $N_{1п}$ ,  $N_{1гн\text{у}}$  – мощность полезная и мощность затраченная гидроструйной насосной установки для варианта 1, кВт;  
 $\eta_{1г}$ ,  $\eta_{1о}$ ,  $\eta_{1м}$  – КПД гидравлический, объемный и механический гидроструйной насосной установки для варианта 1.

Формулы полезной  $N_{2п}$  и затраченная  $N_{2гн\text{у}}$  мощности и КПД  $\eta_{2гн\text{у}}$  гидроструйной насосной установки для струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2 определены согласно принятых функциональных зависимостей (2.18), (2.19) и (2.20) и известных формул по аналогичным насосным установкам [2, 4, 9, 10, 66]:

$$N_{2п} = 9,81 \cdot Q_{2гн} \cdot H_{2гн}, \text{ кВт} \quad (2.77)$$

$$N_{2гн\text{у}} = \frac{N_{2п}}{\eta_{2гн\text{у}}} = \frac{9,81 \cdot Q_{2гн} \cdot H_{2гн}}{\eta_{2гн\text{у}}}, \text{ кВт} \quad (2.78)$$

$$\eta_{2гн\text{у}} = \frac{N_{2п}}{N_{2гн\text{у}}} = \frac{Q_{2гн} \cdot H_{2гн}}{Q_{2гн\text{у}} \cdot H_{2гн\text{у}}}. \quad (2.79)$$

или

$$\eta_{2гн\text{у}} = \eta_{2г} \cdot \eta_{2о} \cdot \eta_{2м}, \quad (2.80)$$

где  $H_{2гн}$  – высота водоподъема гидроструйного насоса для варианта 2, м;  
 $Q_{2гн}$  – полезная подача гидроструйного насоса для варианта 2, м<sup>3</sup>/с;  
 $Q_{2гн\text{у}}$  – подача гидроструйной насосной установки для варианта 2, м<sup>3</sup>/с;  
 $N_{2п}$ ,  $N_{2гн\text{у}}$  – мощность полезная и мощность затраченная гидроструйной насосной установки для варианта 2, кВт;  
 $\eta_{2г}$ ,  $\eta_{2о}$ ,  $\eta_{2м}$  – КПД гидравлический, объемный и механический гидроструйной насосной установки для варианта 2.

## 2.2.2 Теоретические предпосылки технологического процесса водоподъема из скважин и протекающих процессов в струйных насосах

Исследования протекающих процессов в струйных насосах гидроструйной насосной установки были направлены на получение теоретических предположений по определению их основных параметров: вакуумных напоров  $H_{\text{вак1}}$ , внутренних диаметров активного  $D_{\text{са1}}$  и пассивного  $D_{\text{сп1}}$  сопел, скорости движения воды в активном  $v_{\text{са1}}$  и пассивном  $v_{\text{сп1}}$  соплах 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) [2, 3, 9, 78].

Вакуумный напор  $H_{1\text{вак1}}$  для варианта 1 в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{1\text{вак2}}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1 опреляли согласно принятой функциональной зависимости (2.21) и (2.22) на основании уравнения Бернулли, составленного относительно сечений (рисунок 2.1) 0-0 и 1-1 входа и выхода подсосываемой воды и атмосферного воздуха в пассивных соплах струйных насосов:

$$\frac{P_a}{\gamma} + H_B + \frac{v_{1\text{сп1}}^2}{2g} = \frac{P_{1\text{сп1}}}{\gamma} + \frac{v_{1\text{са1}}^2}{2g}, \quad (2.81)$$

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{v_{1\text{сп2}}^2}{2g} = \frac{P_{1\text{сп2}}}{\gamma} + \frac{v_{1\text{са2}}^2}{2g}, \quad (2.82)$$

где  $P_a$  - атмосферное давление, Н/м<sup>2</sup>;

$H_B$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$P_{1\text{сп1}}$  - давление на выходе из пассивного сопла в сечении 1-1 струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, Н/м<sup>2</sup>;

$v_{1\text{сп1}}, v_{1\text{са1}}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м/с;

$P_{1\text{сп2}}$  - давление на выходе из пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1, Н/м<sup>2</sup>;

$v_{1\text{сп2}}, v_{1\text{са2}}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном сопле и воды в активном сопле струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1, м/с.

Преобразуем уравнение (2.81) и (2.82) в виде:

$$\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{1\text{сп1}}}{\gamma} = \frac{v_{1\text{са1}}^2 - v_{1\text{сп1}}^2}{2g} - H_B, \quad (2.83)$$

$$\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{1\text{сп2}}}{\gamma} = \frac{v_{1\text{са2}}^2 - v_{1\text{сп2}}^2}{2g}, \quad (2.84)$$

где левая часть уравнения и правая являются формулами по определению вакуумного напора:

$$H_{1\text{вак1}} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{1\text{сп1}}}{\gamma}, \text{ м} \quad (2.85)$$

ИЛИ

$$H_{1\text{вак1}} = \frac{v_{1\text{са1}}^2 - v_{1\text{сп1}}^2}{2g} - H_B, \text{ м} \quad (2.86)$$

$$H_{1\text{вак2}} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{1\text{сп2}}}{\gamma}, \text{ м} \quad (2.87)$$

ИЛИ

$$H_{1\text{вак}2} = \frac{v_{1\text{сa}2}^2 - v_{1\text{сн}2}^2}{2g}, \text{ м} \quad (2.88)$$

Вакуумный напор  $H_{2\text{вак}1}$  для варианта 2 в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{2\text{вак}2}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2 определяли согласно принятой функциональной зависимости (2.23) и (2.24) на основании уравнения Бернулли, составленного относительно сечений (рисунок 2.1) 0 - 0 и 1 - 1 входа и выхода подсосываемой воды и атмосферного воздуха в пассивных соплах струйных насосов:

$$\frac{P_a}{\gamma} + H_B + \frac{v_{2\text{сн}1}^2}{2g} = \frac{P_{2\text{сн}1}}{\gamma} + \frac{v_{2\text{сa}1}^2}{2g}, \quad (2.89)$$

$$\frac{P_a}{\gamma} + \frac{v_{2\text{сн}2}^2}{2g} = \frac{P_{2\text{сн}2}}{\gamma} + \frac{v_{2\text{сa}2}^2}{2g}, \quad (2.90)$$

где  $P_a$  - атмосферное давление, Н/м<sup>2</sup>;

$H_B$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$P_{2\text{сн}1}$  - давление на выходе из пассивного сопла в сечении 1-1 струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, Н/м<sup>2</sup>;

$v_{2\text{сн}1}$ ,  $v_{2\text{сa}1}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, м/с;

$P_{2\text{сн}2}$  - давление на выходе из пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2, Н/м<sup>2</sup>;

$v_{2\text{сн}2}$ ,  $v_{2\text{сa}2}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном и воды в активном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2, м/с.

Преобразуем уравнение (2.89) и (2.90) для варианта 2 в виде:

$$\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{2\text{сн}1}}{\gamma} = \frac{v_{2\text{сa}1}^2 - v_{2\text{сн}1}^2}{2g} - H_B, \quad (2.91)$$

$$\frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{2\text{сн}2}}{\gamma} = \frac{v_{2\text{сa}2}^2 - v_{2\text{сн}2}^2}{2g}, \quad (2.92)$$

где левая часть уравнения и правая являются формулами по определению вакуумного напора:

$$H_{2\text{вак}1} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{2\text{сн}1}}{\gamma}, \text{ м} \quad (2.93)$$

или

$$H_{2\text{вак}1} = \frac{v_{2\text{сa}1}^2 - v_{2\text{сн}1}^2}{2g} - H_B, \text{ м} \quad (2.94)$$

$$H_{2\text{вак}2} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{2\text{сн}2}}{\gamma}, \text{ м} \quad (2.95)$$

ИЛИ

$$H_{2\text{вак}2} = \frac{v_{2\text{ca}2}^2 - v_{2\text{сп}2}^2}{2g}, \text{ м} \quad (2.96)$$

Внутренние диаметры активных  $D_{1\text{ca}1}$  и пассивных  $D_{1\text{сп}1}$  сопел для варианта 1 и активных  $D_{2\text{ca}2}$  и пассивных  $D_{2\text{сп}2}$  сопел для варианта 2 струйных насосов гидроструйной насосной установки определяются на основании функциональных зависимостей (2.8) и (2.9) по известным формулам [78, 79]:

$$D_{1\text{ca}1} = \left( \frac{4Q_{1\text{гн}у1}}{\pi \cdot v_{1\text{ca}1}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad (2.97)$$

$$D_{1\text{сп}1} = \left( \frac{4Q_{1\text{гн}у1}}{\pi \cdot v_{1\text{сп}1}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad (2.98)$$

$$D_{2\text{ca}2} = \left( \frac{4Q_{2\text{гн}у2}}{\pi \cdot v_{2\text{ca}2}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad (2.99)$$

$$D_{2\text{сп}2} = \left( \frac{4Q_{2\text{гн}у2}}{\pi \cdot v_{2\text{сп}2}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad (2.100)$$

где  $Q_{1\text{гн}у1}, Q_{2\text{гн}у2}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 1 и 2, м<sup>3</sup>/с;

$v_{1\text{ca}1}, v_{1\text{сп}1}, v_{2\text{ca}2}, v_{2\text{сп}2}$  - скорость движения воды и атмосферного воздуха в активных и пассивных соплах струйных насосов для варианта 1 и 2, м/с;

Скорость движения воды и атмосферного воздуха в активных  $v_{1\text{ca}1}$  и пассивных  $v_{1\text{сп}1}$  соплах для варианта 1 и активных  $v_{2\text{ca}2}$  и пассивных  $v_{2\text{сп}2}$  соплах для варианта 2 струйных насосов гидроструйной насосной установки определяются на основании функциональных зависимостей (2.25) - (2.32) по известным формулам [78,79]:

$$v_{1\text{ca}1} = \frac{4Q_{1\text{гн}у1}}{\pi \cdot D_{1\text{ca}1}^2}, \text{ м/с} \quad (2.101)$$

$$v_{1\text{сп}1} = \frac{4Q_{1\text{гн}у1}}{\pi \cdot D_{1\text{сп}1}^2}, \text{ м/с} \quad (2.102)$$

$$v_{2\text{ca}2} = \frac{4Q_{2\text{гн}у2}}{\pi \cdot D_{2\text{ca}2}^2}, \text{ м/с} \quad (2.103)$$

$$v_{2\text{сп}2} = \frac{4Q_{2\text{гн}у2}}{\pi \cdot D_{2\text{сп}2}^2}, \text{ м/с} \quad (2.104)$$

где  $Q_{1\text{гн}у1}, Q_{2\text{гн}у2}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 1 и 2, м<sup>3</sup>/с;

$D_{1\text{ca}1}, D_{1\text{сп}1}, D_{2\text{ca}2}, D_{2\text{сп}2}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйных насосов гидроструйной насосной установки для варианта 1 и

2, м.

Внутренние диаметры нагнетаемых и водоподъёмных труб  $d_{\text{итр}}$  гидроструйной насосной установки определяются по известным формулам аналогично определения диаметров сопел, указанных выше [78, 79]:

$$d_{\text{итр}} = \left( \frac{4Q_{\text{итр}}}{\pi \cdot v_{\text{итр}}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad (2.105)$$

где  $Q_{\text{итр}}$  - расход воды (водо-воздушной смеси) в трубах, м<sup>3</sup>/с;

$v_{\text{итр}}$  – скорость движения воды (водо-воздушной смеси) в трубах, м/с.

## Вывод по разделу 2

1. На основании теоретических предпосылок, выполненных по усовершенствованной конструктивно-технологической схеме гидроструйной насосной установки, получены для обоснования технологических и технических параметров по входным параметрам центробежного насоса: подачи  $Q_{\text{н}}$  и напора  $H_{\text{р}}$ , следующие формулы: полезная  $Q_{\text{гн}}$  и общая подача  $Q_{\text{гну}}$ , расход воды на эжектирование  $Q_{\text{э}}$ , коэффициент эжекции  $K_{\text{э}}$ , увеличение подачи  $\Delta Q_{\text{гну}}$ , удельный вес поднимаемой водо-воздушной смеси  $\gamma_{\text{см}}$  в водоподъёмных трубах, полезная  $N_{\text{п}}$  и затраченная  $N_{\text{гну}}$  мощности и КПД  $\eta_{\text{гну}}$  насосной установки,

2. Полученные формулы для обоснования основных технологических и технических параметров являются основой для разработки необходимых типоразмеров гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

3. Для изучения технологического процесса альтернативной технологии водоподъёма, подтверждения достоверности и уточнения основных полученных формул, необходимо проведение экспериментальных исследований

### 3 МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОСТРУЙНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

#### 3.1 Разработка методики обоснования параметров гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ

Обоснование необходимых параметров гидроструйной насосной установки для водоподъема из скважин и шахтных колодцев выполняется на основании исходных параметров. Исходные параметры на разработку гидроструйной насосной установки представлены на основании изучения состояния механизации водоснабжения и природно-хозяйственных факторов объекта, для которого предназначена гидроструйная насосная установка – это крестьянские и фермерские хозяйства и другие потребители АПК РК в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ [3, 4, 10].

К исходным параметрам для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ относятся: подача проектная  $Q$ , высота водоподъема  $H$ , диаметральный габарит насосной части  $D_{нч}$ , допустимая минерализация и содержания в ней твердых частиц (песка)  $M_d$ , температура окружающего воздуха для нормальной работы насосной установки  $T_{пр}$ . На основании которых обосновываются основные технологические и технические параметры гидроструйной насосной установки: подача полезная  $Q_{гн}$ , общая  $Q_{гн\text{у}}$  и на эжектирование  $Q_э$ , коэффициент эжекции  $K_э$ , оптимальный удельный вес  $\gamma_{см\text{ олт}}$ , поднимаемой водо-воздушной смеси, потребный напор гидроструйного насоса  $H_{гн}$  и насосной установки  $H_{гн\text{у}}$ , полезная  $N_{п}$  и затраченная  $N_{гн\text{у}}$  мощности, КПД  $\Pi_{гн\text{у}}$ , вакуумные напоры  $H_{вак1}$ , внутренние диаметры активных  $D_{ca1}$  и пассивных  $D_{сп1}$  сопел, скорости движения воды в активных соплах  $v_{ca1}$  и скорости движения воды и атмосферного воздуха в пассивных соплах  $v_{сп1}$  струйных насосов [3, 10].

Подача проектная определяется по формуле, где основным критерием обоснования принят максимальный суточный расход воды [10]:

$$Q = \frac{q_{сут.мак}}{t_{см} \cdot \eta_{см} \cdot i_e}, \quad (3.1)$$

где  $Q$  – подача проектная насосной установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$t_{см}$  – рабочее время смены, ч;

$q_{сут.мак}$  – максимальное суточное водопотребление на объекте,  $\text{м}^3$ ;

$$q_{сут.мак} = \sum_{i=1}^n q_H \cdot Z \cdot \alpha, \quad (3.2)$$

где  $q_H$  – единичные нормы водопотребления в сутки (для животных, полива  $1 \text{ м}^2$  площади открытых парниковых,  $1 \text{ га}$  орошаемых земельных участков и

т.д.), м<sup>3</sup>;

$Z$  – количество нормируемых величин (число животных, м<sup>2</sup> поливных участков, га орошаемых земельных площадей и т.д.);

$\alpha = 1,09 \dots 1,15$  – коэффициент, учитывающий водопотребление на собственные нужды обслуживающего персонала [80];

$\eta_{см}$  – коэффициент использования рабочего времени смены для разрабатываемой насосной установки [10]:

$$\eta_{см} = \frac{t_{чр}}{t_{чр} + t_{то}}, \quad (3.3)$$

где  $t_{чр}$  – чистое время работы насосной установки в смену, ч;

$t_{то}$  – время на техобслуживание насосной установки, ч.

Высота водоподъема для разрабатываемой гидроструйной насосной установки определяется по формуле:

- для сельскохозяйственного водоснабжения (варианта 1):

$$H = H_{гну} + h_{п} = H_{д} + h_{р} + h_{п}, \quad (3.4)$$

- для обводнения пастбищ (варианта 2):  $H = H_{гну} = H_{д} + h_{р}$ , (3.5)

где  $H_{гн}$  – высота нагнетания воды для гидроструйного насоса, м;

$h_{р}$  – высота от оголовка скважины до излива в ёмкость или до напорных труб подачи воды потребителю в водонапорную башню (определяется конструктивно), м;

$H_{д}$  – динамический уровень воды в водоисточнике, м;

$h_{п}$  – высота от отводного водоподъёмного трубопровода до потребителя (водонапорной башни), м;

$H_{гну}$  – высота водоподъёма гидроструйной насосной установки, м;

Динамический уровень воды в скважине обосновывается на основании научных проработок [4, 10].

Диаметральный габарит насосной части, опускаемой в скважину, определяется по формуле:

$$D_{нч} = D_{ск} - \delta, \quad (3.6)$$

где  $D_{ск}$  – внутренний диаметр рекомендуемой скважины, мм [4,10];

$\delta$  – зазор на диаметр удовлетворяющий требованиям техники безопасности проведения спускоподъемных операций насосной части во внутрь скважины, мм;

Допустимая минерализация поднимаемой воды и содержание в ней твердых частиц (песка) принята на основании анализа их воздействия на конструкцию насосной установки, особенно насосной части, вероятности распределения скважин по минерализации и содержания твердых частиц

(песка), а также предельной минерализации и химического состава воды, допустимой для водопоя животных [3, 4, 10].

Температура окружающего воздуха для нормальной работы гидроструйной насосной установки принимается в соответствии с существующими требованиями на эксплуатацию водоподъемного оборудования [4, 10].

Технологические и технические параметры гидроструйной насосной установки обоснованы и определены на основании полученных теоретических предпосылок для разработанной усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки и с использованием известных формул в гидравлике [78]:

Подача полезная  $Q_{1гн1}$  и общая  $Q_{1гну1}$  определяются для варианта 1 по формулам (2.39) и (2.43):

$$Q_{1гн1} = \frac{K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot Q_{1н}, \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{1гну1} = \frac{1+2K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot Q_{1н}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$Q_{1н}$  - подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Подача полезная  $Q_{2гн1}$  и общая  $Q_{2гну1}$  гидроструйной насосной установки для варианта 1 могут определяться при известных значениях скоростей воды  $v_{1сп1}$ ,  $v_{1а1}$  и внутренних диаметров  $D_{1сп1}$  и  $D_{1а1}$  пассивного и активного сопел по формулам (2.44) и (2.47):

$$Q_{1гн1} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{1сп1}^2}{4} \cdot v_{1сп1}, \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{1гну1} = \frac{1+2K_{1э1}}{1+K_{1э1}} \cdot \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{1а1}^2}{4} \cdot v_{1а1}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода подсасываемой воды через пассивное сопло струйного насоса;

$D_{1сп1}$  - внутренний диаметр пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м;

$v_{1сп1}$  - скорость воды в пассивном сопле струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м/с;

$K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 1;

$D_{1а1}$  - внутренний диаметр активного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м;

$v_{1а1}$  - скорость воды в активном сопле струйного насоса с подсосом воды

для варианта 1, м<sup>3</sup>/с.

Подача полезная  $Q_{2гн1}$  и общая  $Q_{2гну1}$  определяются для варианта 2 по формулам (2.51) и (2.52):

$$Q_{2гн1} = \frac{K_{2э1}}{1+K_{2э1}} \cdot Q_{2н}, \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{2гну1} = \frac{1+2K_{2э1}}{1+K_{2э1}} \cdot Q_{2н}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $K_{2э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

$Q_{2н}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 2, м<sup>3</sup>/с.

Подача полезная  $Q_{2гн1}$  и общая  $Q_{2гну1}$  гидроструйной насосной установки для варианта 2 могут определяться при известных значениях скоростей воды  $u_{2сп1}$ ,  $u_{2са1}$  и внутренних диаметров  $D_{2сп1}$  и  $D_{2са1}$  пассивного и активного сопел по формулам (2.53) и (2.54):

$$Q_{2гн1} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{2сп1}^2}{4} \cdot u_{2сп1}, \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{2гну1} = \frac{1+K_{2э1}}{K_{2э1}} \cdot \mu \cdot \frac{\pi \cdot D_{2сп1}^2}{4} \cdot u_{2сп1}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода подсосываемой воды через пассивное сопло струйного насоса;

$D_{2сп1}$ ,  $D_{2са1}$  - внутренний диаметр пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, м;

$u_{2сп1}$ ,  $u_{2са1}$  - скорость воды в пассивном сопле струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, м/с;

$K_{2э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 2.

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{1гн}$  (полезная) и общая  $Q_{1гну}$  от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1 определяются по формулам (2.55) и (2.56):

$$Q_{1гн} = Q_n \cdot \left( \frac{K_{1э1}}{1+K_{1э1}} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{1гну} = Q_n \cdot \left( \frac{1+2K_{1э1}}{1+K_{1э1}} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с}$$

где  $Q_n$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1, м<sup>3</sup>/с.

$\gamma$ ,  $\gamma_{см}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной

смеси в водоподъёмных трубах, Н/м<sup>3</sup>;

$K_{1э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 1.

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{2гн}$  (полезная) и общая  $Q_{2гнУ}$  от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2 определяются по формулам (2.57) и (2.58):

$$Q_{2гн} = Q_H \cdot \left( K_{2э1} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с}$$

$$Q_{2гнУ} = Q_H \cdot \left( 1 + K_{2э1} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right), \text{ м}^3/\text{с} .$$

где  $Q_H$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 2, м<sup>3</sup>/с;

$K_{2э1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 2;

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

Потребный напор гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды определяется для варианта 1 по формуле (2.60) и для варианта 2 по формуле (2.63):

$$H_{1гнУ1} = H_1 + \frac{v_2^2 - v_{св1}^2}{2g} + h_{l1} + h_{m1}, \text{ м.}$$

$$H_{2гнУ1} = H_{гнУ} + \frac{v_2^2 - v_{св1}^2}{2g} + h_{l2} + h_{m2}, \text{ м.}$$

где  $H_1$  – высота водоподъёма гидроструйной насосной установки для варианта 1, определяется по формулам (2.61) и (2.62), м:

$$H_1 = H_{гн} + h_p, \text{ м}$$

$$H_{гн} = H_g + h_p, \text{ м}$$

где  $H_{гн}$  - высота нагнетания воды для гидронасоса (рисунок 2.1), м:

$h_p$  – высота от отводного водоподъёмного трубопровода до потребителя (водонапорной башни), м;

$H_g$  – динамический уровень воды в скважине, м;

$h_p$  – высота от оголовка скважины до излива в ёмкость или до отводного водоподъёмного трубопровода, м.

$H_{гнУ}$  - высота водоподъёма гидроструйной насосной установки для варианта 2 (рис.2.1), м;

$h_{l1}, h_{m1}, h_{l2}, h_{m2}$  - потери напора по длине водоподъёмных труб и местные

потери в водоподъемной части при использовании струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 и 2, м (которые определяются по известным формулам) [78, 79].

$v_2, v_3$  - скорость воды в сечении 2-2 и 3-3 насосной части (на выходе из водоподъемного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 1 и 2, м/с;

$v_{ca1}$  - скорость воды в активном сопле струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 и 2, м/с.

Потребный напор гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха определяется для варианта 1 по формуле (2.67) и для варианта 2 по формуле (2.70):

$$H_{1гн\text{у}} = \frac{H_{гн\text{у}}}{\gamma} \cdot \gamma_{см} + h_{п} + \frac{v_2^2 - v_{ca1}^2}{2g} + h_{1л} + h_{1м}, \text{ м.}$$

$$H_{2гн\text{у}} = \frac{H_{гн\text{у}}}{\gamma} \cdot \gamma_{см} + \frac{v_3^2 - v_{ca2}^2}{2g} + h_{2л} + h_{2м}, \text{ м.}$$

где  $H_{гн\text{у}}$  - высота водоподъема гидроструйной насосной установки при подъеме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 1 и 2 (рис.2.1), м;

$\gamma, \gamma_{см}$  - удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах, Н/м<sup>3</sup>;

$h_{п}$  - высота от отводного водоподъемного трубопровода до потребителя (водонапорной башни), м.

Удельный вес  $\gamma_{1см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха определяется для варианта 1 по формуле (2.71) и для варианта 2 по формуле (2.72):

$$\gamma_{1см} = \frac{\gamma}{H_{гн\text{у}}} \cdot \left( H_{1гн\text{у}} + \frac{v_{ca2}^2 - v_2^2}{2g} - h_{п} - h_{1л} - h_{1м} \right), \text{ Н/м}^3$$

$$\gamma_{2см} = \frac{\gamma}{H_{гн\text{у}}} \cdot \left( H_{2гн\text{у}} + \frac{v_{ca2}^2 - v_3^2}{2g} - h_{2л} - h_{2м} \right), \text{ Н/м}^3$$

где  $\gamma$  - удельный вес поднимаемой воды, Н/м<sup>3</sup>;

$H_{1гн\text{у}}, H_{2гн\text{у}}$  - потребный напор гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1 и 2, м;

$h_{п}$  - высота от отводного водоподъемного трубопровода до потребителя (водонапорной башни), м;

$v_{ca2}$  - скорость движения воды в активном сопле гидроструйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1 и 2, м/с;

$v_2, v_3$  - скорость воды в сечении 2-2 и 3-3 насосной части (на выходе из водоподъемного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 1 и 2, м/с;

$h_{l1}, h_{m1}, h_{l2}, h_{m2}$  - потери напора по длине водоподъемных труб и местные потери в водоподъемной части при подъеме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 1 и 2, м (которые определяются по известным формулам) [78, 79].

Полезная  $N_{1п}$  и затраченная  $N_{1гну}$  мощности и КПД  $\Pi_{1гну}$  гидроструйной насосной установки от использования струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха определяются для варианта 1 по формулам (2.73), (2.74) и (2.75), для варианта 2 по формулам (2.77), (2.78) и (2.79) [2, 4, 9, 10, 66]:

$$N_{1п} = 9,81 \cdot Q_{1гн} \cdot H_{1гн}, \text{ кВт}$$

$$N_{1гну} = \frac{N_{1п}}{\Pi_{1гну}} = \frac{9,81 \cdot Q_{1гн} \cdot H_{1гн}}{\eta_{1гну}}, \text{ кВт}$$

$$\Pi_{1гну} = \frac{N_{1п}}{N_{1гну}} = \frac{Q_{1гн} \cdot H_{1гн}}{Q_{1гну} \cdot H_{1гну}},$$

$$N_{2п} = 9,81 \cdot Q_{2гн} \cdot H_{2гн}, \text{ кВт}$$

$$N_{2гну} = \frac{N_{2п}}{\Pi_{2гну}} = \frac{9,81 \cdot Q_{2гн} \cdot H_{2гн}}{\eta_{2гну}}, \text{ кВт}$$

$$\Pi_{2гну} = \frac{N_{2п}}{N_{2гну}} = \frac{Q_{2гн} \cdot H_{2гн}}{Q_{2гну} \cdot H_{2гну}}.$$

где 9,81 переводной коэффициент размерности Вт в кВт;

$Q_{1гн}, Q_{2гн}$  - полезная подача гидроструйного насоса для варианта 1 и 2, м<sup>3</sup>/с;

$H_{1гн}, H_{2гн}$  - высота водоподъема гидроструйного насоса для варианта 1 и 2, м;

$Q_{1гну}, Q_{2гну}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 1 и 2, м<sup>3</sup>/с;

$N_{1п}, N_{1гну}, N_{2п}, N_{2гну}$  - мощность полезная и мощность затраченная гидроструйной насосной установки для варианта 1 и 2, кВт.

Вакуумный напор  $H_{1вак1}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{1вак2}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1 определяются по формулам (2.85) или (2.86), (2.87) или (2.88):

$$H_{1вак1} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{сп1}}{\gamma}, \text{ м} \quad \text{или} \quad H_{1вак1} = \frac{v_{1св1}^2 - v_{1сп1}^2}{2g} - H_B, \text{ м}$$

$$H_{1вак2} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{1сп2}}{\gamma}, \text{ м} \quad \text{или} \quad H_{1вак2} = \frac{v_{1св2}^2 - v_{1сп2}^2}{2g}, \text{ м}$$

где  $P_a$  - атмосферное давление, Н/м<sup>2</sup>;

$H_B$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$P_{1сп1}$  - давление на выходе из пассивного сопла в сечении 1-1 струйного

насоса с подсосом воды для варианта 1, Н/ м<sup>2</sup>;

$v_{1cp1}, v_{1ca1}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 1, м/с;

$P_{1cp2}$  – давление на выходе из пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1, Н/ м<sup>2</sup>;

$v_{1cp2}, v_{1ca2}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном и воды в активном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1, м/с.

Вакуумный напор  $H_{2вак1}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{2вак2}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2 определяются по формулам (2.93) или (2.94), (2.95) или (2.96):

$$H_{2вак1} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{2cp1}}{\gamma}, \text{ м} \quad \text{или} \quad H_{2вак1} = \frac{v_{2ca1}^2 - v_{2cp1}^2}{2g} - H_B, \text{ м}$$

$$H_{2вак2} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{P_{1cp2}}{\gamma}, \text{ м} \quad \dots \text{ или} \quad H_{2вак2} = \frac{v_{2ca2}^2 - v_{2cp2}^2}{2g}, \text{ м}$$

где  $P_a$  - атмосферное давление, Н/м<sup>2</sup>;

$H_B$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды, м;

$P_{2cp1}$  – давление на выходе из пассивного сопла в сечении 1-1 струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, Н/ м<sup>2</sup>;

$v_{2cp1}, v_{2ca1}$  - скорость движения воды в пассивном и активном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 2, м/с;

$P_{2cp2}$  – давление на выходе из пассивного сопла струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2, Н/ м<sup>2</sup>;

$v_{2cp2}, v_{2ca2}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном и воды в активном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2, м/с.

Внутренние диаметры активного  $D_{1ca1}$  и пассивного  $D_{1cp1}$  сопел струйного насоса с подсосом воды и активного  $D_{1ca2}$  и пассивного  $D_{1cp2}$  сопел струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1 гидроструйной насосной установки определяются по известным формулам (2.97) и (2.98), (2.99) и (2.100) [78, 79]:

$$D_{1ca1} = \left( \frac{4Q_{1гнy1}}{\pi \cdot v_{1ca1}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad \text{и} \quad D_{1cp1} = \left( \frac{4Q_{1гнy1}}{\pi \cdot v_{1cp1}} \right)^{1/2}, \text{ м}$$

$$D_{1ca2} = \left( \frac{4Q_{1гнy2}}{\pi \cdot v_{1ca2}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad \text{и} \quad D_{1cp2} = \left( \frac{4Q_{1гнy2}}{\pi \cdot v_{1cp2}} \right)^{1/2}, \text{ м}$$

где  $Q_{1гнy1}, Q_{1гнy2}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 1 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$v_{1ca1}, v_{1cp1}, v_{1ca2}, v_{1cp2}$  - скорость движения воды и атмосферного воздуха в

активных и пассивных соплах струйных насосов для варианта 1 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м/с.

Скорость движения воды и атмосферного воздуха в активном  $v_{1ca1}$  и пассивном  $v_{1cp1}$  соплах струйного насоса с подсосом воды и активном  $v_{1ca2}$  и пассивном  $v_{1cp2}$  соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1 гидроструйной насосной установки определяются по известным формулам (2.101) и (2.102), (2.103) и (2.104) [78, 79]:

$$v_{1ca1} = \frac{4Q_{1гнy1}}{\pi \cdot D_{1ca1}^2}, \text{ м/с} \quad \text{и} \quad v_{1cp1} = \frac{4Q_{1гнy1}}{\pi \cdot D_{1cp1}^2}, \text{ м/с}$$

$$v_{1ca2} = \frac{4Q_{1гнy2}}{\pi \cdot D_{1ca2}^2}, \text{ м/с} \quad \text{и} \quad v_{1cp2} = \frac{4Q_{1гнy2}}{\pi \cdot D_{1cp2}^2}, \text{ м/с}$$

где  $Q_{1гнy1}, Q_{1гнy2}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 1 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$D_{1ca1}, D_{1cp1}, D_{1ca2}, D_{1cp2}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйных насосов гидроструйной насосной установки для варианта 1 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м.

Внутренние диаметры активных  $D_{2ca1}$  и пассивных  $D_{2cp1}$  сопел струйного насоса с подсосом воды и активных  $D_{2ca2}$  и пассивных  $D_{2cp2}$  сопел струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2 гидроструйной насосной установки определяются по известным формулам (2.97) и (2.98), (2.99) и (2.100) [78, 79]:

$$D_{2ca1} = \left( \frac{4Q_{2гнy1}}{\pi \cdot v_{2ca1}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad \text{и} \quad D_{2cp1} = \left( \frac{4Q_{2гнy1}}{\pi \cdot v_{2cp1}} \right)^{1/2}, \text{ м}$$

$$D_{2ca2} = \left( \frac{4Q_{2гнy2}}{\pi \cdot v_{2ca2}} \right)^{1/2}, \text{ м} \quad \text{и} \quad D_{2cp2} = \left( \frac{4Q_{2гнy2}}{\pi \cdot v_{2cp2}} \right)^{1/2}, \text{ м}$$

где  $Q_{2гнy1}, Q_{2гнy2}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 2 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$v_{2ca1}, v_{2cp1}, v_{2ca2}, v_{2cp2}$  - скорость движения воды и атмосферного воздуха в активных и пассивных соплах струйных насосов для варианта 2 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м/с.

Скорость движения воды и атмосферного воздуха в активном  $v_{1ca1}$  и пассивном  $v_{2cp1}$  соплах струйного насоса с подсосом воды и активном  $v_{2ca2}$  и пассивном  $v_{2cp2}$  соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2 гидроструйной насосной установки определяются по известным формулам (2.101) и (2.102), (2.103) и (2.104) [78, 79]:

$$v_{2ca1} = \frac{4Q_{2гнy1}}{\pi \cdot D_{2ca1}^2}, \text{ м/с} \quad \text{и} \quad v_{2сп1} = \frac{4Q_{2гнy1}}{\pi \cdot D_{2сп1}^2}, \text{ м/с}$$

$$v_{2ca2} = \frac{4Q_{2гнy2}}{\pi \cdot D_{2ca2}^2}, \text{ м/с} \quad \text{и} \quad v_{2сп2} = \frac{4Q_{2гнy2}}{\pi \cdot D_{2сп2}^2}, \text{ м/с}$$

где  $Q_{2гнy1}, Q_{2гнy2}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 2 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м<sup>3</sup>/с;

$D_{2ca1}, D_{2сп1}, D_{2ca2}, D_{2сп2}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйных насосов гидроструйной насосной установки для варианта 2 с использованием струйных насосов с подсосом воды и с подсосом атмосферного воздуха, м.

### 3.2 Обоснование необходимых параметров гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ

На основании разработанной методики обоснованы основные исходные параметры, технологические и технические параметры на два варианта усовершенствованной гидроструйной насосной установки для подъема воды из скважин в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ: вариант 1 – для сельскохозяйственного водоснабжения; вариант 2 – для обводнения пастбищ; на экспериментальный образец гидроструйной насосной установки.

Ниже приведены результаты выполненного расчёта на принятые варианты усовершенствованной гидроструйной насосной установки, таблицы 3.1, 3.2.

Таблица 3.1 - Результаты обоснованных и расчётных параметров для усовершенствованной гидроструйной насосной установки для подъема воды из скважин

Параметры	Ед. измер.	Варианты		
		1	2	Эксперимент
суточное водопотребление	м <sup>3</sup>	180	25	25-180
проектная подача установки	м <sup>3</sup> /ч	25	3,6	3,6-25
высота водоподъема,	м	47,5	21,5	21,5-47,5
диаметральный габарит	мм	120	120	120
допустимая минерализация поднимаемой воды	г/дм <sup>3</sup>	до 5,0	до 5,0	до 5,0
допустимое содержание в воде твердых частиц (песка, по массе)	%	до 0,5	до 0,5	до 0,5
температура окружающего воздуха	°С.	±30	±30	±30

Полный расчёт по обоснованию основных исходных, технологических и

технических параметров на принятые варианты усовершенствованной гидроструйной насосной установки для подъема воды из скважин в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ представлен в Приложении В.

Таблица 3.2 - Результаты обоснованных и расчётных технологических и технических параметров насосной установки

Параметры	Ед.измер.	Варианты		
		1	2	Эксперимент
подача полезная	м <sup>3</sup> /ч	36	6,77	6,77-36
подача общая	м <sup>3</sup> /ч	72	10,37	10,37-61,2
подача на эжектирование	м <sup>3</sup> /ч	25	3,6	3,6-25
коэффициент эжекции	-	0,9	0,9	0,9
оптимальный удельный вес поднимаемой водо-воздушной смеси	Н/м <sup>3</sup>	4928-4950	4919-4950	4950-5092
потребный напор	м	38,5	16,4	16,4 -16,8
свободный напор	м	-	5	5
мощность полезная	кВт	4,66	0,396	0,396- 2,11
мощность затраченная	кВт	6,42	0,463	0,484-3,3
КПД насосной установки		0,726	0,855	0,835-0,639
вакуумный напор в струйных насосах	м	2,46-7,5	1,44-4,01	1,44 -7,5
внутренние диаметры для активного сопла	мм	35	19,8	19,8 - 35
внутренние диаметры для подсоса воды пассивного сопла	мм	35	35	35
внутренние диаметры для подсоса атмосферного воздуха активного сопла	мм	35	19,8	19,8 - 35
внутренние диаметры для а подсоса атмосферного воздуха пассивного сопла	мм	41	35	35
внутренний диаметр водоподъемного трубопровода	мм	79,5	41	41 -79,5
внутренний диаметр нагнетаемого трубопровода	мм	53	35,3	35,3-53
емкость водовоздухоприемной емкости	дм <sup>3</sup>	120 - 150	100-120	120 - 150

### Вывод по разделу 3

На основании изучения механизации водоснабжения и природно-хозяйственных факторов объекта, для которого предназначена гидроструйная насосная установка, разработана методика по обоснованию исходных, технологических и технических параметров усовершенствованной гидроструйной насосной установки для подъёма воды из скважин и рассчитаны необходимые параметры для двух вариантов насосной установки, по которым разработаны образец для проведения экспериментальных исследований и лабораторных испытаний.

## **4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПРЕДЛАГАЕМОЙ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОСТРУЙНОЙ НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ**

### **4.1 Разработка экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки**

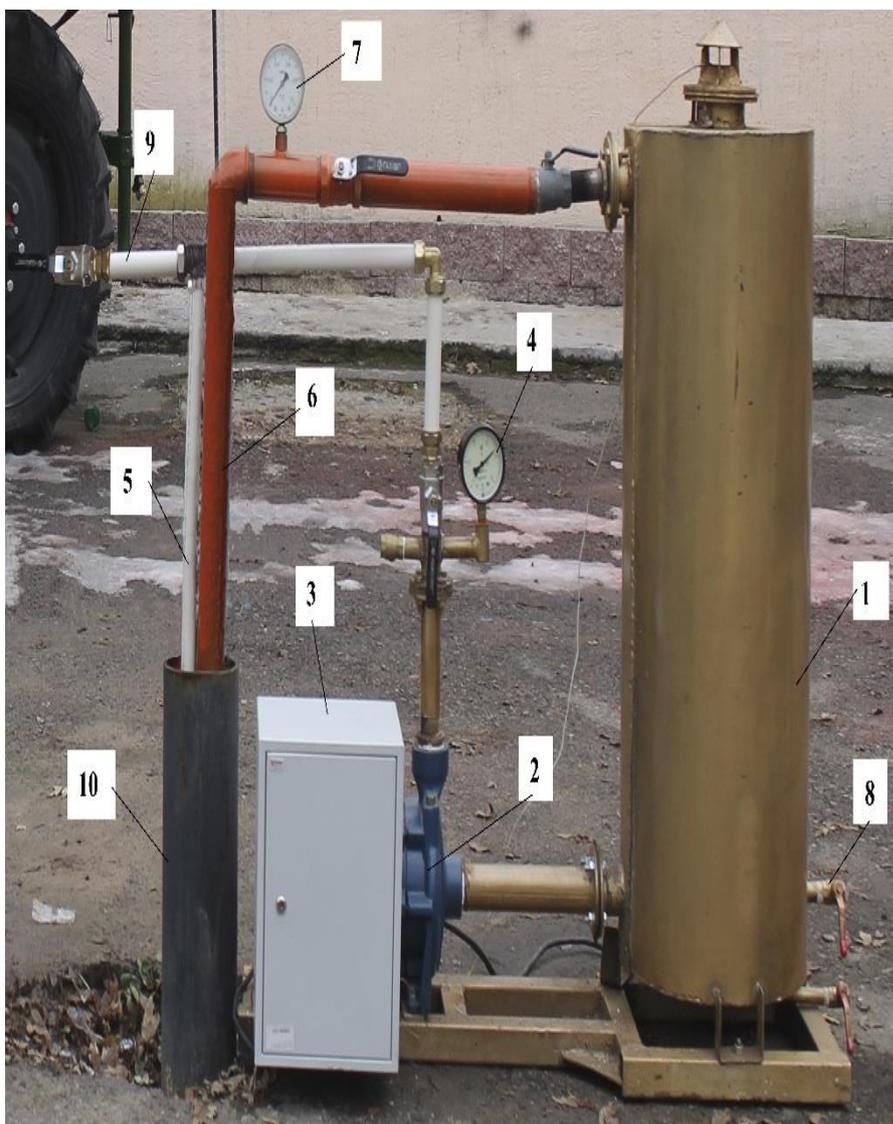
Экспериментальный образец усовершенствованной гидроструйной насосной установки для подъёма воды из скважин разработан в КазНАУ по конструктивно-технологической схеме и рассчитанным основным технологическим и техническим параметрам. Образец для проведения экспериментальных исследований был изготовлен на заводе ТОО «VTASBULAK» (г.Талгар) (рисунок 1.8).

В условиях Водного Хаба КазНАУ для проведения экспериментальных исследований по изучению протекающих процессов в струйных насосах с подсосом воды и атмосферного воздуха и технологического процесса гидроструйной насосной установки была создана установка усовершенствованной гидроструйной насосной установки. Целью проведения экспериментов было уточнение некоторых параметров, проверка достоверности выполненных основных теоретических предпосылок и проведения лабораторных испытаний на стендовой скважине [19, 91].

Общий вид наземной части экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки показан на рисунке 4.1.

Экспериментальный образец усовершенствованной гидроструйной насосной установки (рисунок 4.1) состоит из водовоздухоприёмной ёмкости 1, центробежного насоса 2 со всасывающим патрубком, соединённым с ёмкостью 1, пульта управления 3, манометра 4 насоса, установленного на напорном патрубке насоса с задвижкой, трубопровода нагнетаемого 5, соединённого с напорным патрубком насоса и струйным насосом внутри скважины, водоподъёмного трубопровода 6, соединённого с ёмкостью 1 и струйным насосом внутри скважины, манометра 7 водоподъёмного трубопровода, трубы с задвижкой 8 для отвода воды из ёмкости потребителю и труба с задвижкой 9 отвода напорной воды. При этом напорный патрубок насоса соединён через тройник с трубопроводом, имеющим манометр и задвижку для подачи воды потребителю при напорном отводе в водонапорную башню.

Экспериментальный образец усовершенствованной гидроструйной насосной установки является универсальным и может использоваться в исследованиях двух вариантов технологического процесса водоподъёма: вариант 1 - для сельскохозяйственного водоснабжения при напорной подаче потребителю, например в водонапорную башню; вариант 2 – для обводнения пастбищ, не требующих напорной подачи потребителю, при водозаборе из ёмкости для заполнения резервуаров водопойного пункта.



1-ёмкость; 2-центробежный насос; 3-пульт управления; 4-манометр насоса; 5-трубопровод нагнетаемый; 6-водоподъёмный трубопровод; 7-манометр водоподъёмного трубопровода; 8-труба с задвижкой отвода воды из ёмкости; 9- труба с задвижкой отвода напорной воды; 10-скважина.

Рисунок 4.1 - Общий вид наземной части изготовленного экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки

#### 4.2 Экспериментальные исследования и лабораторные испытания гидроструйной насосной установки

Экспериментальные исследования и лабораторные испытания по технологии водоподъёма из скважин с использованием усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки не проводились.

Цель исследования - получение результатов экспериментальных исследований и лабораторных испытаний по усовершенствованной

конструктивно-технологической схеме гидроструйной насосной установке, работающей по альтернативной технологии водоподъёма, позволяющей снизить потребный напор насосной установки в 1,5 – 2 раза, повысить полезную подачу в 2-4 раза и увеличить КПД в 1,1-2 раза.

В работе использовались в основном однофакторные методы экспериментальных исследований по проверке достоверности полученных теоретических предпосылок. Достоверность теоретических зависимостей осуществляли методом аппроксимации опытных данных, принимая за критерий оценки коэффициент корреляции не ниже 0,95, т.е. расхождение опытных с теоретическими данными, в пределах 5%.

#### **4.2.1 Задачи экспериментальных исследований по технологическому процессу водоподъёма из скважин с использованием гидроструйной насосной установки**

На основании выполненных теоретических исследований и расчёта основных технологических и технических параметров экспериментального образца гидроструйной насосной установки, поставлены следующие задачи экспериментальных исследований [19]:

1. Исследование технологического процесса водоподъёма из скважины по определению зависимостей подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{i\text{ гн1}}$  и  $Q_{i\text{ гн}}$  и общей  $Q_{i\text{ гну1}}$  и  $Q_{i\text{ гну}}$  от подачи  $Q_{\text{н}}$  центробежного насоса СР 220 В для варианта 1 (сельскохозяйственное водоснабжение) и варианта 2 (обводнение пастбищ) при использовании струйного насоса с подсосом воды и от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха.

2. Исследование по определению потерь напора  $h_{\text{сн1}}$  в струйных насосах и коэффициентов местных сопротивлений  $\xi_{\text{сн1}}$ .

3. Исследование зависимостей по определению коэффициента эжекции  $K_{\text{э}}$  гидроструйной насосной установки от числа Рейнольдса  $Re$  в протекающем процессе струйного насоса с использованием подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла с закруткой.

4. Исследование по проверке достоверности формул по определению основных технологических параметров гидроструйной насосной установки: подачи полезной  $Q_{i\text{ гн1}}$  (2.39), (2.51) и  $Q_{i\text{ гн}}$  (2.55), (2.57) и общей  $Q_{i\text{ гну1}}$  (2.43), (2.52) и  $Q_{i\text{ гну}}$  (2.56), (2.58), потребного напора  $H_{i\text{ гну}}$  (2.60), (2.63) и (2.67), (2.70), удельного веса  $\gamma_{\text{исм}}$  (2.71), (2.72) поднимаемой водо-воздушной смеси по водоподъёмному трубопроводу и вакуумного напора  $H_{\text{ивак}}$  (2.86), (2.88) и (2.94), (2.96), создаваемого в струйных насосах.

5. Проведение лабораторных испытаний экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки по традиционной и альтернативной технологии водоподъёма.

#### 4.2.2 Программа экспериментальных исследований по технологическому процессу водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установки

На основании поставленных задач экспериментальных исследований по гидроструйной насосной установке, предложена следующая программа их проведения:

1. Определение при технологическом процессе водоподъёма из скважины зависимостей подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{i\text{гн}1}$  и  $Q_{i\text{гн}}$  и общей  $Q_{i\text{гн}y1}$  и  $Q_{i\text{гн}y}$  от подачи  $Q_{\text{н}}$  принятого центробежного насоса для варианта 1 (сельскохозяйственное водоснабжение) и варианта 2 (обводнение пастбищ) при использовании струйного насоса с подсосом воды и от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха.

2. Определение потерь напора  $h_{\text{сн}i}$  и коэффициентов местных сопротивлений  $\xi_{\text{сн}i}$  в струйных насосах с подсосом воды и атмосферного воздуха.

3. Определение коэффициента эжекции  $K_e$  гидроструйной насосной установки в зависимости от числа Рейнольдса  $Re$  в протекающем процессе в струйном насосе с использованием подвода воды с закруткой в приёмную камеру пассивного сопла.

4. Проверка достоверности формул по определению основных технологических параметров гидроструйной насосной установки: подачи полезной  $Q_{i\text{гн}1}$  (2.39), (2.51) и  $Q_{i\text{гн}}$  (2.55), (2.57) и общей  $Q_{i\text{гн}y1}$  (2.43), (2.52) и  $Q_{i\text{гн}y}$  (2.56), (2.58), потребного напора  $H_{i\text{гн}y}$  (2.60), (2.63) и (2.67), (2.70), удельного веса  $\gamma_{i\text{см}}$  (2.71), (2.72) поднимаемой водо-воздушной смеси по водоподъёмному трубопроводу и вакуумного напора и  $H_{i\text{вак}}$  (2.86), (2.88) и (2.94), (2.96), создаваемого в струйных насосах.

5. Проведение сравнительных лабораторных испытаний экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки по традиционной и альтернативной технологии водоподъёма.

#### 4.2.3 Методика экспериментальных исследований по технологическому процессу водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установки

Для проведения экспериментальных исследований технологического процесса водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установки использовалась существующая методика [82-89].

Цель экспериментальных исследований - изучение протекающих процессов в струйных насосах с подсосом воды и атмосферного воздуха, технологического процесса водоподъёма по традиционной и альтернативной технологии водоподъёма из стендовой скважины гидроструйной насосной установки, определение зависимостей подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{i\text{гн}1}$  и  $Q_{i\text{гн}}$  и общей  $Q_{i\text{гн}y1}$  и  $Q_{i\text{гн}y}$  от подачи  $Q_{\text{н}}$

центробежного насоса, определения основных технологических параметров насосной установки и проверка достоверности и уточнение формул по определению основных технологических параметров гидроструйной насосной установки: подачи полезной  $Q_{i\text{гн1}}$  (2.39), (2.51) и  $Q_{i\text{гн}}$  (2.55), (2.57) и общей  $Q_{i\text{гн1}}$  (2.43), (2.52) и  $Q_{i\text{гн}}$  (2.56), (2.58), потребного напора  $H_{i\text{гн}}$  (2.60), (2.63) и (2.67), (2.70) удельного веса  $\gamma_{i\text{см}}$  (2.71), (2.72) поднимаемой водо-воздушной смеси по водоподъёмному трубопроводу и вакуумного напора  $H_{i\text{вак1}}$  и  $H_{i\text{вак}}$  (2.86), (2.88) и (2.94), (2.96), создаваемого в струйных насосах.

Экспериментальные исследования проводили на специальной стендовой скважине с использованием экспериментального образца гидроструйной насосной установки, изготовленного по расчётным параметрам разработанной методики [20]. При этом стенд был оборудован приборами и приспособлениями, обеспечивающими необходимые визуальные замеры.

Эксперименты проводили однофакторным методом. Пределы интервала подач  $Q_{\text{н}}$  центробежного насоса СР 220 В устанавливали по его напорам  $H_{\text{р}}$ , которые принимали  $H_{\text{р}} = 10\text{м}; 15\text{м}; 20\text{м}; 25\text{м}; 30\text{м}; 40\text{м}$ , устанавливаемым методом дросселирования с помощью задвижки на выходе отводного патрубка водоподъёмного трубопровода по установленному на нём образцовому манометру.

Во время экспериментальных исследований для определения основных зависимостей и параметров гидроструйной насосной установки проводили следующие замеры не менее 3-х кратной повторности: подачу полезную  $Q_{\text{гн}}$  и общую  $Q_{\text{гн}}$  насосной установки объёмным способом с помощью мерной тарированной емкости и секундомера, потребляемую мощность по фазовым показаниям ваттметра прибора КИП, подключенного к кабелю электродвигателя центробежного насоса и электросети; потребный напор  $H_{\text{гн}}$  и вакуумный напор  $H_{\text{вак}}$  визуально по показаниям образцового манометра и вакуумметра, а также температуру, давление атмосферного воздуха и температуру поднимаемой воды.

Эксперименты проводили в следующей последовательности: в водоподъёмной части экспериментального образца гидроструйной насосной установки устанавливали один струйный насос с подсосом воды, или два струйных насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха. Затем, меняя в них исследуемые параметры, изменяли напор центробежного насоса  $H_{\text{р}}$  в заданных интервалах, производили визуальные замеры по установленным приборам: водомерному счётчику воды или мерным способом объём поднятой воды  $V_i$  за опыт; фазовые показания ваттметра КИП  $W_A, W_B, W_C$ ; напор насоса  $H_{\text{р}}$  по показаниям образцового манометра; вакуумный напор  $H_{\text{вак}}$  по показаниям вакуумметра; температуру поднимаемой воды и атмосферного воздуха по термометрам; атмосферного давления воздуха по психрометру.

По полученным экспериментальным данным замеров вычисляли параметры гидроструйной насосной установки по формулам:

Подача насосной установки

$$Q_{\text{гнп}} = \frac{\sum_{i=1}^m V_i}{\sum_{i=1}^m t_i}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (4.1)$$

где  $V_i$  - объем поднятой воды за опыт, м<sup>3</sup>;  
 $t_i$  - время замера поднятого объема воды за опыт, с;  
 $m$  - количество опытов.

Потребляемая мощность определялась по формуле

$$N_{\text{гнп}} = \frac{1}{m} k \cdot \sum_{i=1}^m (W_A + W_B + W_C), \text{ Вт}, \quad (4.2)$$

где  $k$  - коэффициент перевода показаний ваттметра КИП, Вт/ед;  
 $W_A, W_B, W_C$  - фазовые показания ваттметра КИП, ед.

Полезная мощность была рассчитана, как

$$N_{\text{п}} = 9,81 \cdot Q_{\text{гнп}} \cdot H_{\text{гнп}}, \text{ кВт} \quad (4.3)$$

КПД гидроструйной насосной установки устанавливалась по зависимости

$$\eta_{\text{гнп}} = \frac{N_{\text{п}}}{N_{\text{гнп}}}, \quad (4.4)$$

где 9,81 – переводной коэффициент размерности Вт в кВт

$Q_{\text{гнп}}$  - подача гидроструйной насосной установки при соответствующем напоре, м<sup>3</sup>/с;

$H_{\text{гнп}}$  - напор насосной установки, м.

Потери напора центробежного насоса в струйных насосах определяются по формуле:

$$h_{\text{сн } i} = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\text{вх}i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_{\text{вых}i}}{\gamma} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H_{\text{вх}i} - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m H_{\text{вых}i}, \text{ м} \quad (4.5)$$

где  $P_{\text{вх}i}, P_{\text{вых}i}$  - избыточное давление воды на входе и выходе струйного насоса, Па;

$H_{\text{вх}i}, H_{\text{вых}i}$  – напор насосной установки на входе и выходе струйного насоса, м;

$m$  – количество измерений.

Коэффициент местных сопротивлений в струйных насосах определяется по формуле:

$$\xi_{снi} = \frac{h_{снi} \cdot 2g}{v_{сai}^2} = \frac{\pi^2 g \cdot D_{сai}^4 \cdot h_{снi}}{8Q_{гнui}^2}, \quad (4.6)$$

где  $D_{сai}$  – внутренний диаметр активного сопла струйного насоса, м;  
 $v_{сai}$  – скорость движения воды внутри активного сопла струйного насоса, м/с;

$$v_{сai} = \frac{4Q_{гнui}}{\pi D_{сai}^2}, \quad (4.7)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$Q_{гнui}$  – общая подача гидроструйной насосной установки, соответствующая местным потерям в струйных насосах, м<sup>3</sup>/с.

Достоверность теоретических зависимостей осуществляли методом аппроксимации опытных данных, принимая за критерий оценки коэффициент корреляции не ниже 0,95, т.е. расхождение опытных данных с теоретическими в пределах 5%.

#### **4.2.4 Методика проведения лабораторных испытаний экспериментального образца гидроструйной насосной установки**

Лабораторные испытания экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки также проводили на стендовой скважине, оборудованной испытательным стендом.

Целью лабораторных испытаний насосной установки являлось: определение основных технологических параметров насосной установки при работе экспериментального образца по традиционной и альтернативной технологии водоподъёма и сравнение их характеристик между собой.

Для проведения лабораторных испытаний экспериментального образца гидроструйной насосной установки, насосную часть опускают в стендовую скважину с помощью электрической лебёдки, закрепив трос лебёдки с монтажной проушиной струйного насоса с подсосом воды.

С помощью лебедки насосную часть погружают во внутрь обсадной трубы стендовой скважины таким образом, чтобы струйный насос с подсосом воды погрузился под динамический уровень воды стендовой скважины, а струйный насос с подсосом атмосферного воздуха был воздуховсасывающим патрубком, расположенным выше динамического уровня воды. После чего к водоподъёмной трубе на выходе из обсадной трубы скважины соединяют отводной патрубок с образцовым манометром и задвижкой, а за тем устанавливают оголовок скважины для удержания насосной части внутри скважины.

После подготовительных и пуско-наладочных работ, проводят лабораторные испытания. Напор центробежного насоса создавался методом дросселирования с помощью задвижки и изменялся в пределах 10...40м

водяного столба, а также методом погружения насосной части под динамический уровень воды в скважине, создавая реальную высоту водоподъёма в заданных пределах. Основные параметры насосной установки замеряли и определяли аналогично экспериментальным исследованиям. Во время лабораторных испытаний определяли следующие параметры: подачу полезную  $Q_{гн}$  и общую  $Q_{гну}$ , полезную  $N_{п}$  и потребляемую  $N_{гну}$  мощности и КПД  $\eta_{гну}$  насосной установки. За критерий сравнительной оценки результатов лабораторных испытаний насосной установки по традиционной и альтернативной технологии водоподъёма принимали их подачу, потребный напор и КПД.

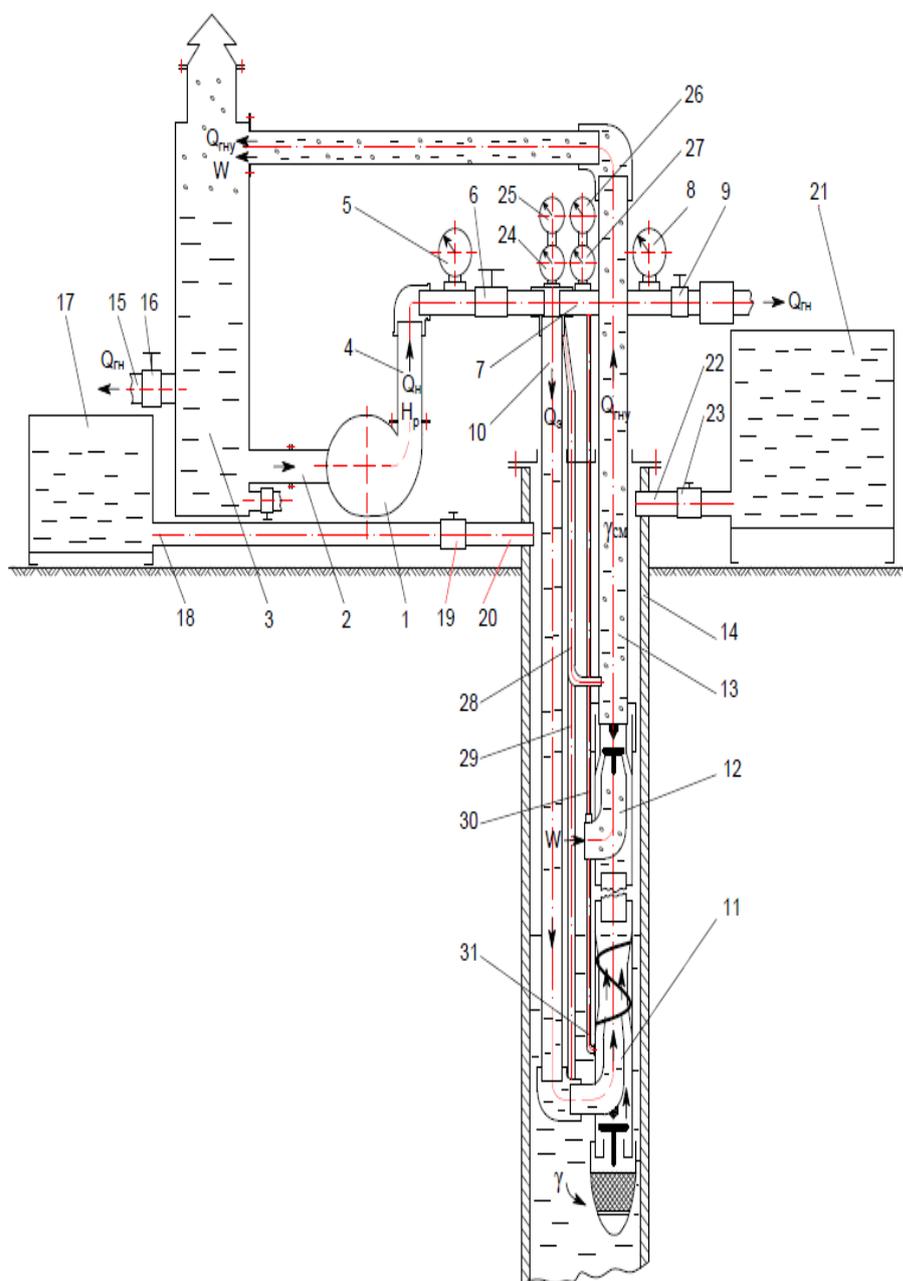
#### **4.2.5 Испытательный стенд и экспериментальный образец гидроструйной насосной установки с измерительным оборудованием и приборами**

Испытательный стенд и экспериментальный образец усовершенствованной гидроструйной насосной установки были разработаны для проведения экспериментальных исследований по традиционной и альтернативной технологии водоподъёма из скважин с использованием струйных насосов для подсоса воды и атмосферного воздуха и проведения лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки.

Схема испытательного стенда и экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки с измерительным оборудованием и приборами дана на рисунке 4.2.

Общий вид наземной части стенда для проведения экспериментальных исследований и лабораторных испытаний экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки дан на рисунке 4.3.

Испытательный стенд для проведения экспериментальных исследований и лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки состоит из центробежного насоса 1, всасывающего патрубка 2, приёмной ёмкости 3, напорного патрубка центробежного насоса 4, манометра центробежного насоса 5, задвижки насоса 6, трубы отводной 7, манометра отводной трубы 8, задвижки отводной 9, трубопровода нагнетаемого 10, струйного насоса для подсоса воды 11, струйного насоса для подсоса атмосферного воздуха, водоподъёмного трубопровода 13, стендовой скважины 14, трубы отвода воды из ёмкости 15, задвижки приёмной ёмкости 16, мерной ёмкости замера полезной подачи 17 (для варианта 2), отводной трубы мерной ёмкости 18, задвижки мерной ёмкости для варианта 2 19, отводного патрубка 20, мерной ёмкости для варианта 1 21, отводной трубки 22, задвижки мерной ёмкости 23 (для варианта 1), образцового манометра струйного насоса с подсосом воды 24, образцового манометра струйного насоса с подсосом воздуха 25, вакуумметра струйного насоса с подсосом воздуха 26, вакуумметра струйного насоса с подсосом воды 27 и соединительных гидрошлангов манометров и вакуумметров 28,29,30,31(рисунки 4.2 и 4.3).



1-центробежный насос; 2-всасывающий патрубок; 3-ёмкость приёмная; 4-напорный патрубок центробежного насоса; 5-манометр насоса; 6-задвижка насоса; 7-труба отводная; 8-манометр отводной трубы; 9-задвижка отводная; 10-трубопровод нагнетаемый; 11-струйный насос для подсоса воды; 12-струйный насос для подсоса атмосферного воздуха; 13-водоподъёмный трубопровод; 14- стендовая скважина; 15-труба отвода воды из ёмкости; 16-задвижка ёмкости; 17- мерная емкость замера полезной подачи для варианта 2; 18 – отводная труба мерной ёмкости; 19 – задвижка мерной ёмкости для варианта 2; 20 – отводной патрубок; 21 - мерная емкость для варианта 1; 22 – отводная трубка; 23 – задвижка мерной ёмкости для варианта 1; 24 - образцовый манометр струйного насоса с подсосом воды; 25 - образцовый манометр струйного насоса с подсосом воздуха; 26 – вакуумметр струйного насоса с подсосом воздуха; 27- вакуумметр струйного насоса с подсосом воы; 28,29,30,31 - соединительные гидрошланги манометров и вакуумметров.

Рисунок 4.2 – Схема испытательного стенда и экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки с измерительным оборудованием и приборами

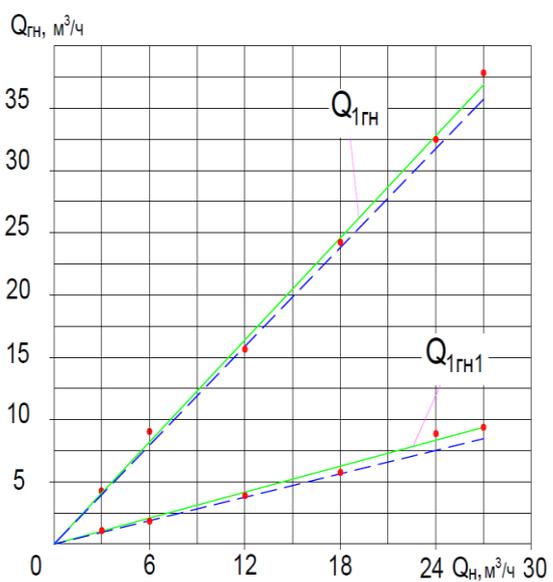


Рисунок 4.3 - Общий вид наземной части стенда для проведения экспериментальных исследований и лабораторных испытаний экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки

#### 4.3 Результаты экспериментальных исследований по технологическому процессу водоподъёма из скважин гидроструйной насосной установки

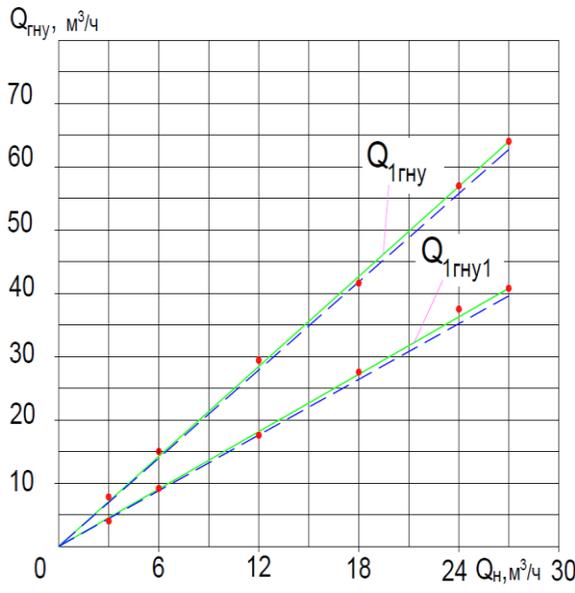
Экспериментальные исследования проведены на экспериментальном образце гидроструйной насосной установки с центробежным насосом СР 220 В с параметрами: подачей  $Q_n = 3-27 \text{ м}^3/\text{ч}$  при напоре  $H_p = 37,5- 25 \text{ м}$ , потребляемой мощности  $N_n = 1,7 - 3,2 \text{ кВт}$  и КПД  $\eta_n = 0,18 - 0,60$  и струйными насосами с оптимальными параметрами активных и пассивных сопел:  $D_{ca1} = 35 \text{ мм}$ ,  $D_{сп1} = 56 \text{ мм}$ ,  $D_{ca2} = 56 \text{ мм}$ ,  $D_{сп2} = 26,5 \text{ мм}$ . Результаты экспериментальных исследований технологического процесса гидроструйной

насосной установки представлены графиками зависимостей: подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{1ГН1}$  и  $Q_{1ГН}$  и общей  $Q_{1ГНУ1}$  и  $Q_{1ГНУ}$  от подачи  $Q_H$  центробежного насоса СР 220 В для варианта 1 (сельскохозяйственное водоснабжение) технологического процесса при использовании струйного насоса с подсосом воды и от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха (рисунок 4.4 а, б) и подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{2ГН1}$  и  $Q_{2ГН}$  и общей  $Q_{2ГНУ1}$  и  $Q_{2ГНУ}$  от подачи  $Q_H$  центробежного насоса СР 220 В для варианта 2 (обводнение пастбищ) технологического процесса при использовании струйного насоса с подсосом воды и от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха (рисунок 4.5 а, б).



а)

— теоретические ---экспериментальные  
а) полезная подача



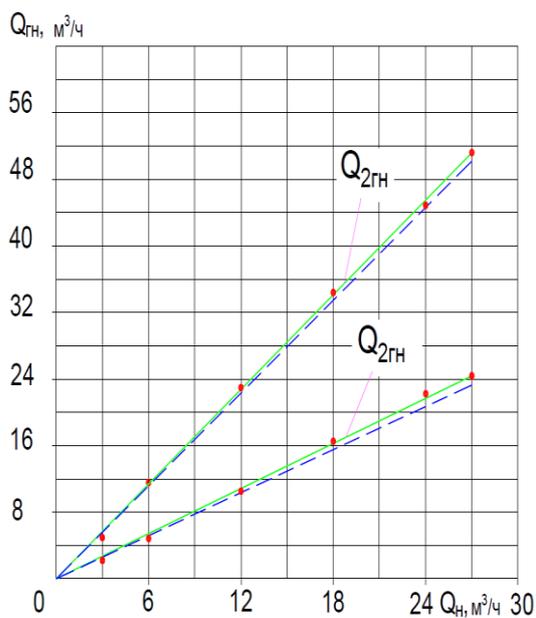
б)

— теоретические ---экспериментальные  
б) общая подача

Рисунок 4.4 – Зависимость подачи гидроструйной насосной установки (полезной  $Q_{1ГН1}$  и  $Q_{1ГН}$  и общей  $Q_{1ГНУ1}$ ) и  $Q_{1ГНУ}$  от подачи  $Q_H$  центробежного насоса СР 220В для варианта 1 при использовании струйного насоса с подсосом воды и от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха.

В результате исследований установлено, что полезная подача гидроструйной насосной установки составляет: для традиционной технологии водоподъёма (рисунок 4.4 а)  $Q_{1ГН1} = 6-9 \text{ м}^3/\text{ч}$  (вариант 1) и (рисунок 4.5а)  $Q_{2ГН1} = 16,2-24,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  (вариант 2). Для новой технологии водоподъёма (рисунок 4.4а и рисунок 4.5а)  $Q_{1ГН} = 24-36 \text{ м}^3/\text{ч}$  (вариант 1) и  $Q_{2ГН} = 34,2-51,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  (вариант 2) при изменении подачи центробежного насоса от  $18 \text{ м}^3/\text{ч}$  до  $27 \text{ м}^3/\text{ч}$ ., при изменении высоты водоподъёма  $H = 20 - 30 \text{ м}$  и коэффициентах эжекции струйного насоса с подсосом воды: для варианта 1  $K_{э1} = 0,5$ , для варианта 2  $K_{э1} = 0,9$ . Достоверность теоретических формул, приведённых на

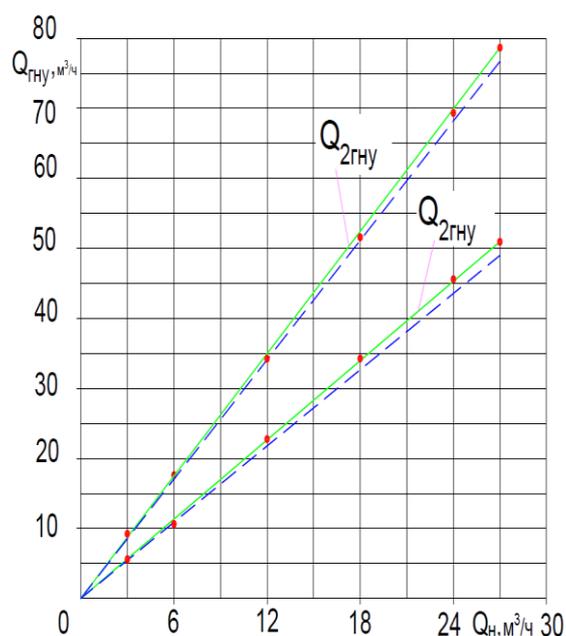
графиках зависимостей  $Q_{1гн1}$ ,  $Q_{1гн}$ ,  $Q_{1гн1у}$ ,  $Q_{1гн1у}$ ,  $Q_{2гн1}$ ,  $Q_{2гн}$ ,  $Q_{2гн1у}$ ,  $Q_{2гн1у} = f(Q_n)$  подтверждены экспериментально (расхождение не превышает 3-5%).



а)

— теоретические --- экспериментальные

а) полезная подача



б)

— теоретические --- экспериментальные

б) общая подача

Рисунок 4.5 – Зависимость подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{2гн1}$  и  $Q_{2гн}$  и общей  $Q_{2гн1у}$  и  $Q_{2гн1у}$  от подачи  $Q_n$  центробежного насоса СР 220 В для варианта 2 при использовании струйного насоса с подсосом воды и от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха

Из графиков (рисунки 4.4 и 4.5) явно прослеживается преимущество новой технологии водоподъема с использованием усовершенствованной гидроструйной насосной установки по сравнению с традиционной технологии водоподъема.

Экспериментально определены вакуумные напоры в струйных насосах  $H_{вак1}$  и  $H_{вак2}$ , максимальные значения которых соответственно составили 4,5 м и 5 м, а также определено оптимальное значение удельного веса поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах  $\gamma_{см.опт} = 4900-5000 \text{ Н/м}^3$ , потери напора по длине  $h_l$  водоподъемных труб и местные потери  $h_m$  не превышают 3м, которые позволили определить потребный напор гидроструйной насосной установки. Достоверность теоретических формул по определению вакуумного напора  $H_{вак1}$  и  $H_{вак2}$ , удельного веса поднимаемой водовоздушной смеси  $\gamma_{см}$  и потребного напора  $H_{гн1у}$  подтверждено экспериментально (расхождение составляет до 3-5%).

## 4.4 Экспериментальные исследования по протекающим процессам в струйных насосах гидроструйной насосной установки

### 4.4.1 Результаты по определению потерь напора $h_{снi}$ и коэффициентов трения $\xi_{снi}$ в струйных насосах гидроструйной насосной установки

Результаты исследований по определению потерь напора  $h_{снi}$  и коэффициентов трения  $\xi_{снi}$  в струйных насосах гидроструйной насосной установки представлены графиками зависимостей  $h_{снi}$ ,  $\xi_{снi} = f(Q_{гнyи})$  для двух вариантов насосных установок: сельскохозяйственного водоснабжения (вариант 1) при проектной подаче насосной установки  $Q_{п} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 4.6) и обводнении пастбищ (вариант 2) при проектной подаче насосной установки  $Q_{п} = 3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$  (рисунок 4.7). Из графиков следует, что потери напора  $h_{снi}$  в струйных насосах с увеличением подачи гидроструйной насосной установки  $Q_{гнyи}$  увеличиваются при постоянном значении их основных параметров – внутренних диаметров активных сопел  $D_{саi} = \text{const}$ , которые составили для гидроструйной насосной установки сельскохозяйственного водоснабжения (вариант 1) при изменении подачи от  $25 \text{ м}^3/\text{ч}$  до  $61,3 \text{ м}^3/\text{ч}$   $h_{сн} = 1,2 \text{ м} - 6,1 \text{ м}$  и  $\xi_{сн} = 3,4 - 3,6$ , а для гидроструйной насосной установки обводнения пастбищ (вариант 2) при изменении подачи от  $3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$  до  $10,3 \text{ м}^3/\text{ч}$   $h_{сн} = 0,2 \text{ м} - 1,6 \text{ м}$  и  $\xi_{сн} = 3,4 - 3,6$ .

По данным графиков теоретических и экспериментальных зависимостей  $h_{сн} = f(Q_{гнyи})$  (рисунки 4.6 и 4.7) для струйных насосов определены экспериментальные значения коэффициентов трения  $\xi_{снi}$ , представленные на графиках зависимостями  $\xi_{снi} = f(Q_{гнyи})$ , из которых следует, что с увеличением  $Q_{гнyи}$  при внутренних диаметров активных сопел  $D_{саi} = \text{const}$ . коэффициенты трения  $\xi_{снi}$  почти не изменяются и составляют  $3,4 \dots 3,6$  при среднем значении  $3,5$ .

Расхождения экспериментальных значений  $h_{снi}$  и  $\xi_{снi}$  от теоретических не превышают 2-3 %.

Экспериментально определены вакуумные напоры в струйных насосах с подсосом воды  $H_{\text{вак1}}$  и с подсосом атмосферного воздуха  $H_{\text{вак2}}$ , которые составили от  $1,38 \text{ м}$  до  $7,5 \text{ м}$  при средних значениях соответственно  $1,9 \text{ м}$  и  $5,8 \text{ м}$ . Достоверность теоретических формул по определению вакуумного напора  $H_{\text{вак1}}$  и  $H_{\text{вак2}}$ , подтверждено экспериментально (расхождение составляет до 3-5%).

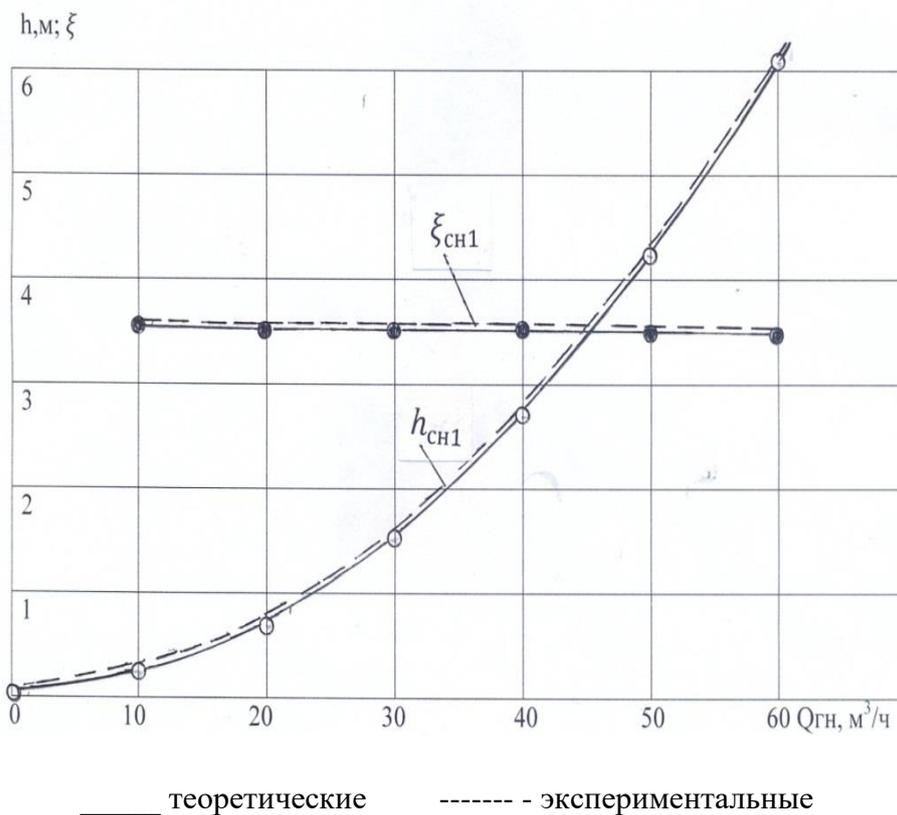


Рисунок 4.6 - Зависимости потерь напора  $h_{\text{сн1}}$  и коэффициентов трения  $\xi_{\text{сн1}}$  в струйных насосах от подачи  $Q_{\text{гн1}}$  гидроструйной насосной установки сельскохозяйственного водоснабжения (вариант 1)

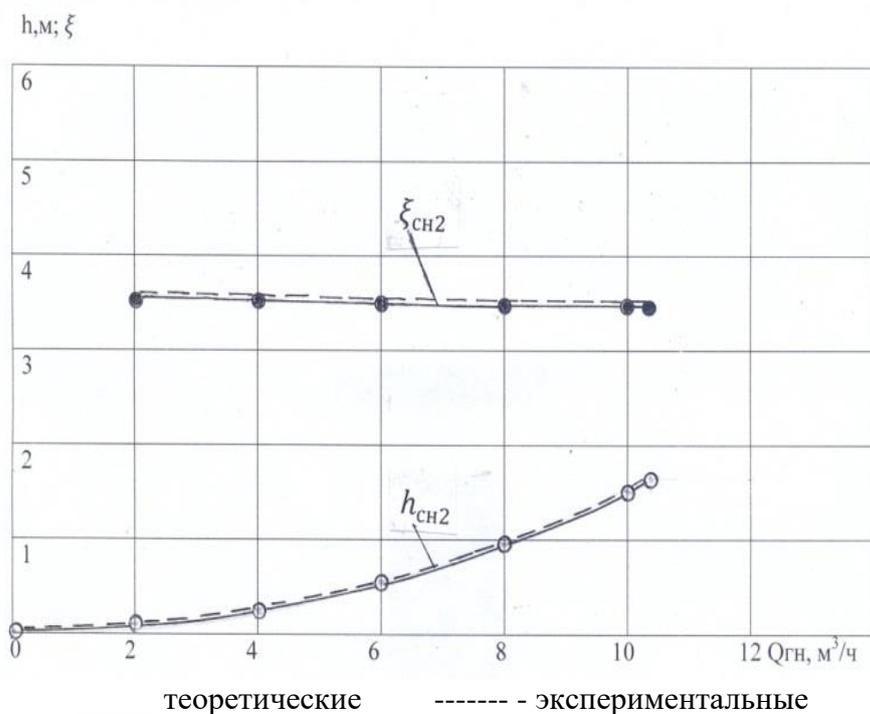


Рисунок 4.7 - Зависимости потерь напора  $h_{\text{сн1}}$  и коэффициентов трения  $\xi_{\text{сн1}}$  в струйных насосах от подачи  $Q_{\text{гн1}}$  гидроструйной насосной установки обводнения пастбищ (вариант 2)

#### 4.4.2 Результаты исследования струйного насоса по повышению коэффициента эжекции $K_3$ с использованием подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла с закруткой

Цель исследования – сравнить способы подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса гидроструйной насосной установки по традиционной технологии (прямоточной) и по альтернативной технологии (с закруткой, через тангенциальный подвод), а также доказать эффективность альтернативной технологии, по сравнению с традиционной в увеличении коэффициента эжекции  $K_3$  [13, 90].

Принципиальная схема струйного насоса с двумя способами подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла показана на рисунке 4.8 [15].

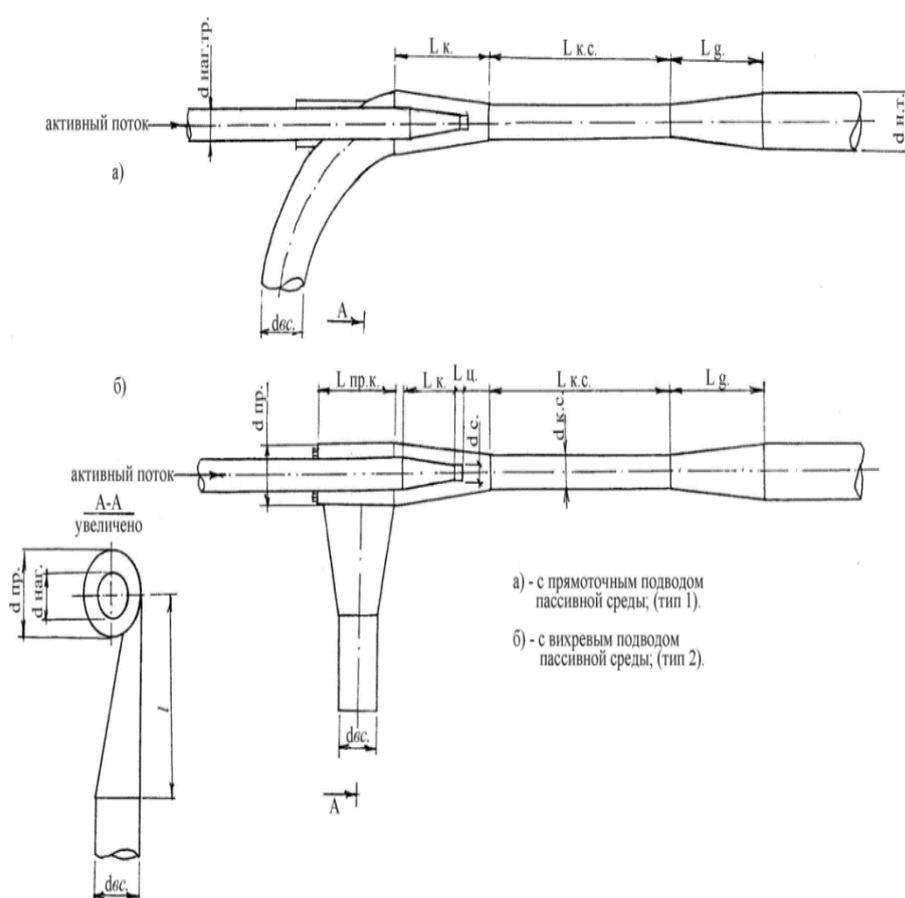


Рисунок 4.8 -Принципиальная схема струйного насоса с прямоточным и закручивающим (вихревым) способами подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла

Результаты исследований по установлению коэффициента эжекции  $K_3$  гидроструйной насосной установки от использования закручивающего (вихревого) подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла представлены графиками зависимостей коэффициента эжекции  $K_3$  от числа Рейнольдса  $Re$  и от параметра закрутки  $S$ , т.е.  $K_3=f(Re, S)$  (рисунок 4.9, 4.10 и 4.11) [13, 15, 91].

На графиках (рисунок 4.9) даны экспериментальные зависимости

коэффициента эжекции  $K_e$  от числа Рейнольдса  $Re$  для прямого способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса при разных значениях расстояния от активного сопла до смесительной камеры  $\Delta l = 0; 10 \text{ мм}; 20 \text{ мм}$  и  $30 \text{ мм}$ , из которых следует, что коэффициент эжекции  $K_e$  повышается при всех значениях  $\Delta l$  при увеличении числа Рейнольдса до  $Re = 0,9 \cdot 10^5$ , максимальный коэффициент эжекции  $K_e$  изменяется от  $0,41$  до  $0,53$ , оптимальное значение  $\Delta l = 20 \text{ мм}$ .

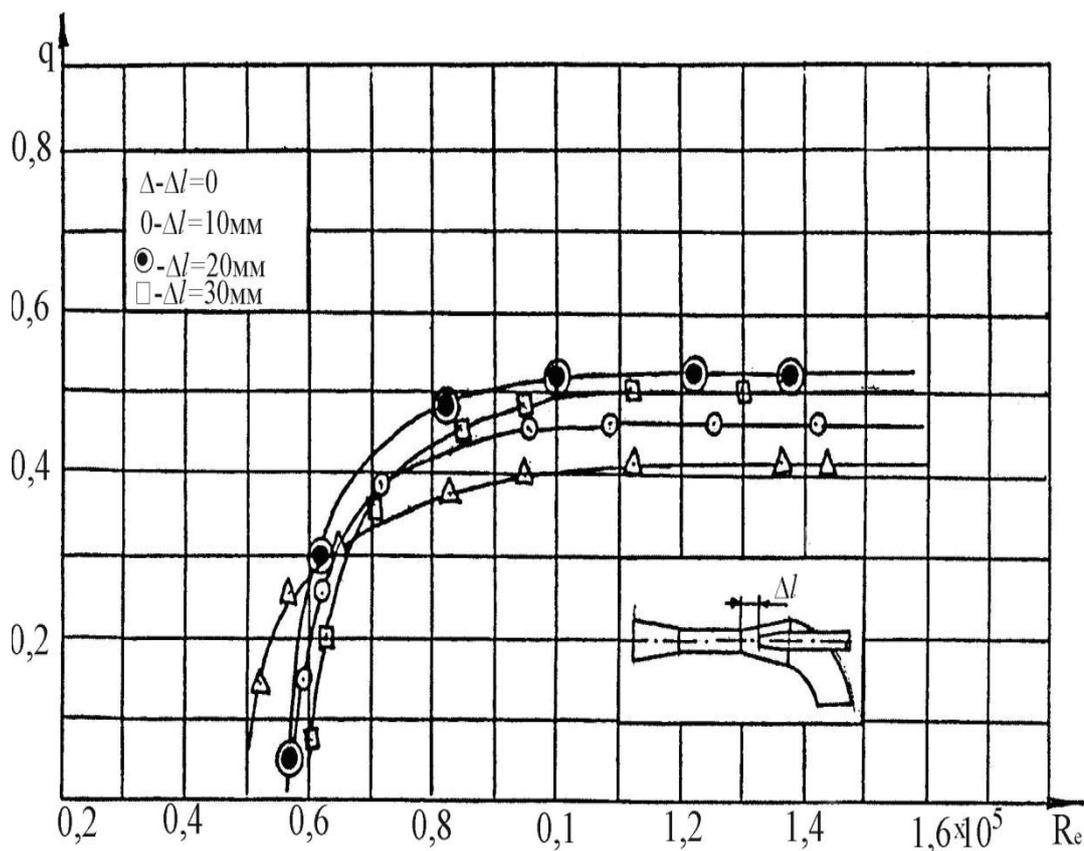


Рисунок 4.9 - Зависимость коэффициента эжекции  $K_e$  от числа Рейнольдса  $Re$  для прямого способами подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса

На графиках (рисунок 4.9) представлены экспериментальные зависимости коэффициента эжекции  $K_e$  от числа Рейнольдса  $Re$  для закручивающего (вихревого) способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса при разных значениях расстояния от активного сопла до смесительной камеры  $\Delta l = 0; 10 \text{ мм}; 20 \text{ мм}$  и  $30 \text{ мм}$ , из которых следует, что коэффициент эжекции  $K_e$  повышается при всех значениях  $\Delta l$  при увеличении числа Рейнольдса до  $Re = 1,1 \cdot 10^5$ , максимальный коэффициент эжекции  $K_e$  изменяется от  $0,53$  до  $0,78$ , оптимальное значение  $\Delta l = 20 \text{ мм}$ .

Исследования позволили выявить, что достигаемый положительный эффект в конструкции с вихревым подводом всасываемой жидкости значительно больше, чем для конструкции с обычным прямоточным подводом, на основании чего можно полагать о предпочтительности применения данной

конструкции в случаях, когда требуется увеличить подачу струйного насоса.

Анализ зависимостей коэффициента эжекции от числа Рейнольдса (рисунки 4.10) показывает, что коэффициент эжекции струйного насоса с закручивающимся (вихревым) подводом ( $K_3 = 0,78$ ) значительно превосходит значение коэффициента эжекции струйного насоса с прямоточным подводом ( $K_3 = 0,53$ ) в 1,47 раза при одинаковых исходных гидравлических параметрах.

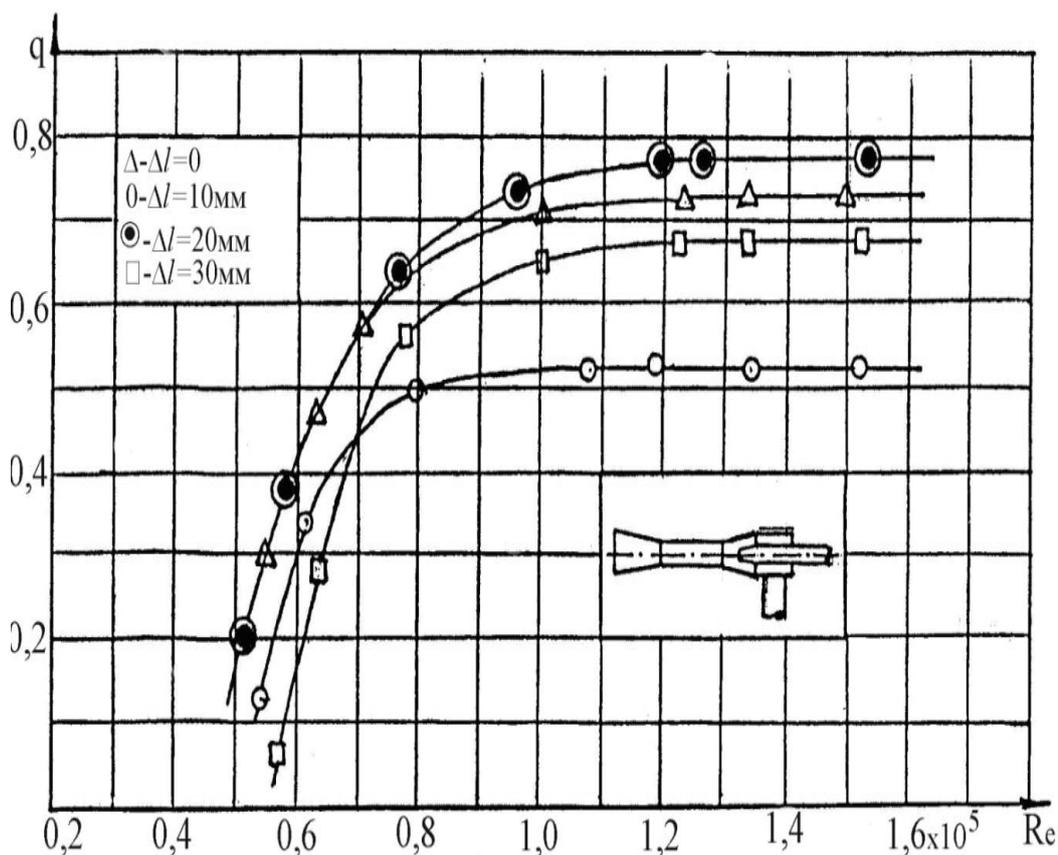


Рисунок 4.10 - Зависимость коэффициента эжекции  $K_3$  от числа Рейнольдса  $Re$  для закручивающего (вихревого) способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса

Рассмотрение зависимости  $K_3=f(Re)$  показало, что существует критическое значение числом Рейнольдса  $Re_{кр}=1,2 \times 10^5$ , выше которого увеличение коэффициента эжекции не происходит, т.е. существует автомодельная зона.

Полагая, что коэффициент эжекции зависит от интенсивности передачи энергии активного потока пассивному, заключили, что чем больше активный поток передаст кинетическую энергию пассивному, тем эффективнее используется поверхность активной струи, которая является рабочей, тем больше значение коэффициента эжекции. [92, 93]

Экспериментальные данные показали, что закрутка всасываемого потока оказывает сильное влияние на рабочие характеристики струйных насосов.

При повышении степени закрутки увеличивается интенсивность смешения потока. При этом возникают большие градиенты давления в радиальном и

осевом направлении, что приводит к увеличению коэффициента эжекции.

Кроме того, критерием оценки повышения коэффициента эжекции  $K_e$  для закручивающего (вихревого) способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса является параметр закрутки  $S$  (рисунок 4.11).

Параметр закрутки  $S$  представляет собой безразмерное отношение осевой компоненты потока момента количества движения к произведению осевой компоненты потока количества движения и эквивалентного радиуса сопла [94].

Параметр закрутки также может быть представлен в виде

$$S = \frac{G/2}{1-(G/2)^2} \quad (4.8)$$

где  $G = U_w/U_0$  - отношение окружной компоненты скорости к осевой.

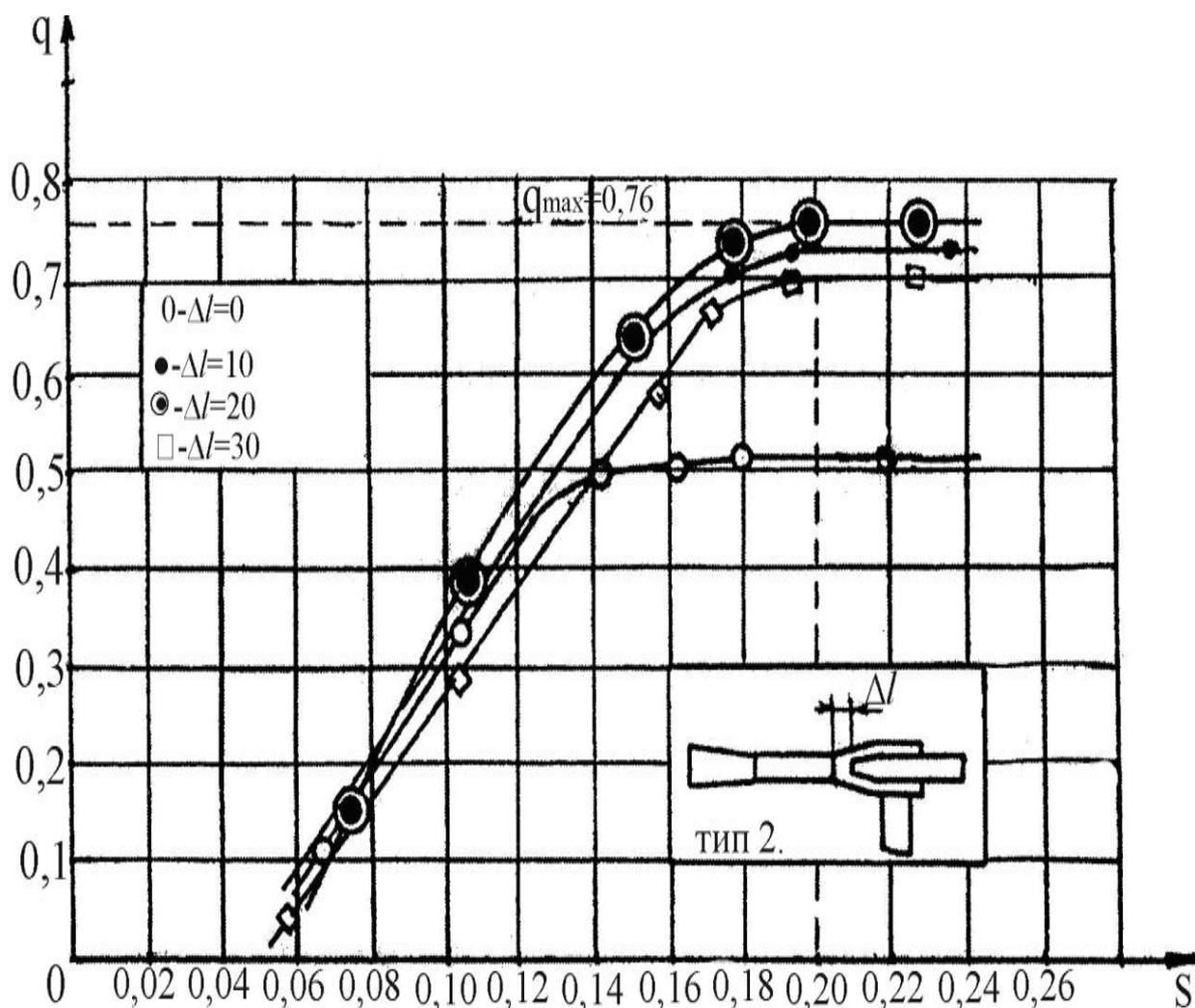


Рисунок 4.11 - Зависимость коэффициента эжекции  $K_e$  от параметра закрутки  $S$  для закручивающего (вихревого) способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса

На графиках (рисунок 4.10) даны экспериментальные зависимости коэффициента эжекции  $K_э$  от параметра закрутки  $S$  для закручивающего (вихревого) способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса при разных значениях расстояний от активного сопла до смесительной камеры  $\Delta l = 0; 10$  мм; 20 мм и 30 мм, из которых следует, что коэффициента эжекции  $K_э$  повышается при всех значениях  $\Delta l$  при увеличении параметра закрутки  $S$  до  $S=0,20$  (критического значения), после чего дальнейшее увеличение параметра закрутки не влияет на увеличение коэффициента эжекции, максимальный коэффициент эжекции  $K_э$  изменяется от 0,52 до 0,76, оптимальное значение  $\Delta l = 20$  мм.

Важной характеристикой струйного насоса является также зависимость безразмерного перепада абсолютных гидростатических давлений от коэффициента эжекции [95]

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = f(q) \quad (4.9)$$

Анализ экспериментальных данных показывает, что при одинаковых исходных гидравлических параметрах струйного насоса, коэффициент эжекции  $K_э$  от использования закручивающего (вихревого) способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса повышается в 1,47 раза по сравнению с прямоточным способом подвода воды. Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки.

#### **4.5 Результаты лабораторных испытаний усовершенствованной гидроструйной насосной установки**

Лабораторные испытания гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса СР 220В проводились для сравнения двух вариантов технологического процесса (традиционного и альтернативного). Результаты представлены на рисунках 4.12 и 4.13.

Из графиков зависимости  $H_{1гн1}$ ,  $N_{1гн1}$ ,  $\Pi_{1гн1}=f(Q_{1гн1})$  по традиционной и альтернативной  $H_{1гн}$ ,  $N_{1гн}$ ,  $\Pi_{1гн}=f(Q_{1гн})$  технологии водоподъёма следует, что гидроструйная насосная установка с использованием центробежного насоса СР 220В по альтернативной технологии водоподъёма для сельскохозяйственного водоснабжения превосходит по всем параметрам гидроструйную насосную установку с использованием данного центробежного насоса СР 220В, работающего по традиционной технологии водоподъёма: подача оптимальная  $Q_{1гн} = 24-36$  м<sup>3</sup>/ч выше  $Q_{1гн1} = 6-9$  м<sup>3</sup>/ч в 4 раза, потребный напор  $H_{1гн} = 12,5-18,75$  м ниже  $H_{1гн1} = 25-37,5$  м в 2 раза; оптимальное значение КПД  $\Pi_{1гн} = 0,38-0,40$  выше  $\Pi_{1гн1} = 0,19-0,20$  в 2 раза. В результате сравнительного анализа доказана эффективность использования гидроструйной насосной установки, работающей по альтернативной

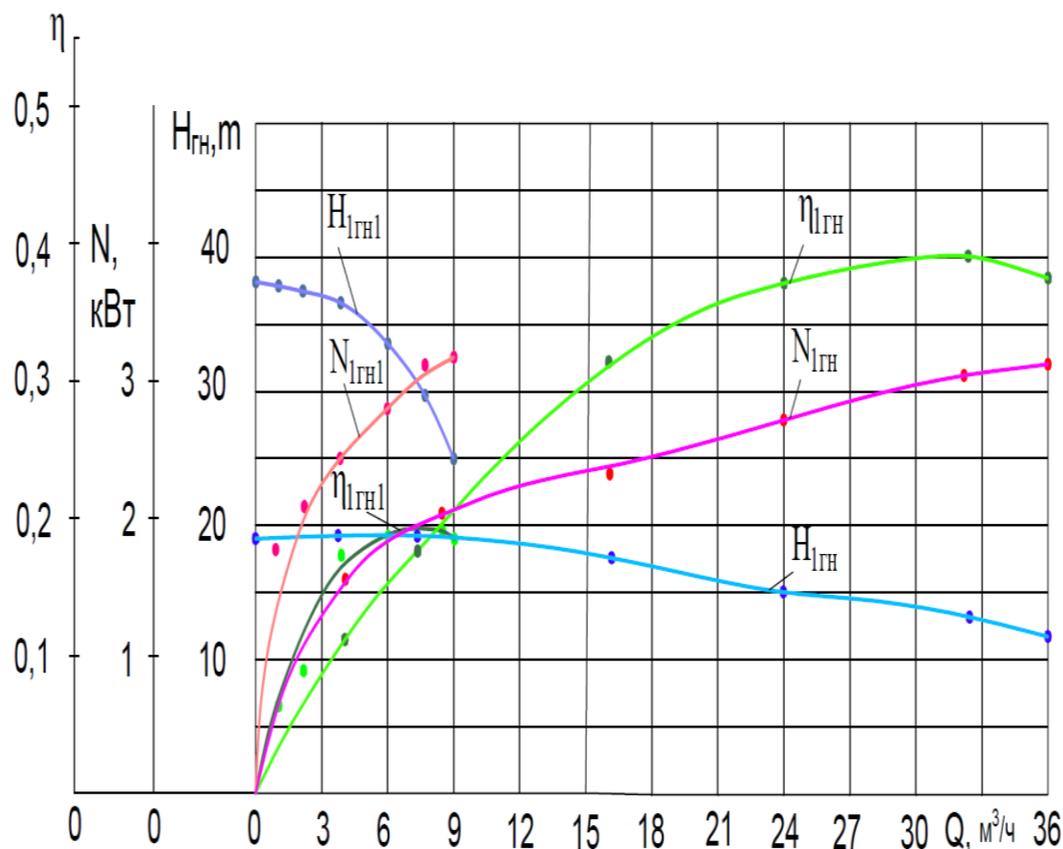


Рисунок 4.12 - Результаты лабораторных сравнительных испытаний гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса CP 220B для двух вариантов технологического процесса: традиционного и альтернативного для сельскохозяйственного водоснабжения

Из анализа зависимостей  $H_{2гн1}$ ,  $N_{2гн1}$ ,  $\eta_{2гн1}=f(Q_{2гн1})$  по традиционной технологии водоподъёма и альтернативной  $H_{2гн}$ ,  $N_{2гн}$ ,  $\eta_{2гн}=f(Q_{2гн})$  следует, что гидроструйная насосная установка с использованием центробежного насоса CP 220 В по альтернативной технологии водоподъёма для пастбищного водоснабжения также превосходит по всем параметрам гидроструйную насосную установку с использованием данного центробежного насоса CP 220B, работающего по традиционной технологии водоподъёма: подача оптимальная  $Q_{2гн} = 34,2 - 51,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  выше  $Q_{2гн1} = 16,2 - 24,3 \text{ м}^3/\text{ч}$  в 2,1 раза, потребный напор  $H_{2гн} = 12,5 - 18,5 \text{ м}$  ниже  $H_{1гн} = 25 - 37,5 \text{ м}$  в 2 раза; оптимальное значение КПД  $\eta_{2гн} = 0,55 - 0,57$  выше  $\eta_{2гн1} = 0,52 - 0,54$  в 1,1 раза. В результате сравнительного анализа доказана эффективность использования гидроструйной насосной установки для обводнения пастбищ, работающей по альтернативной технологии водоподъёма.

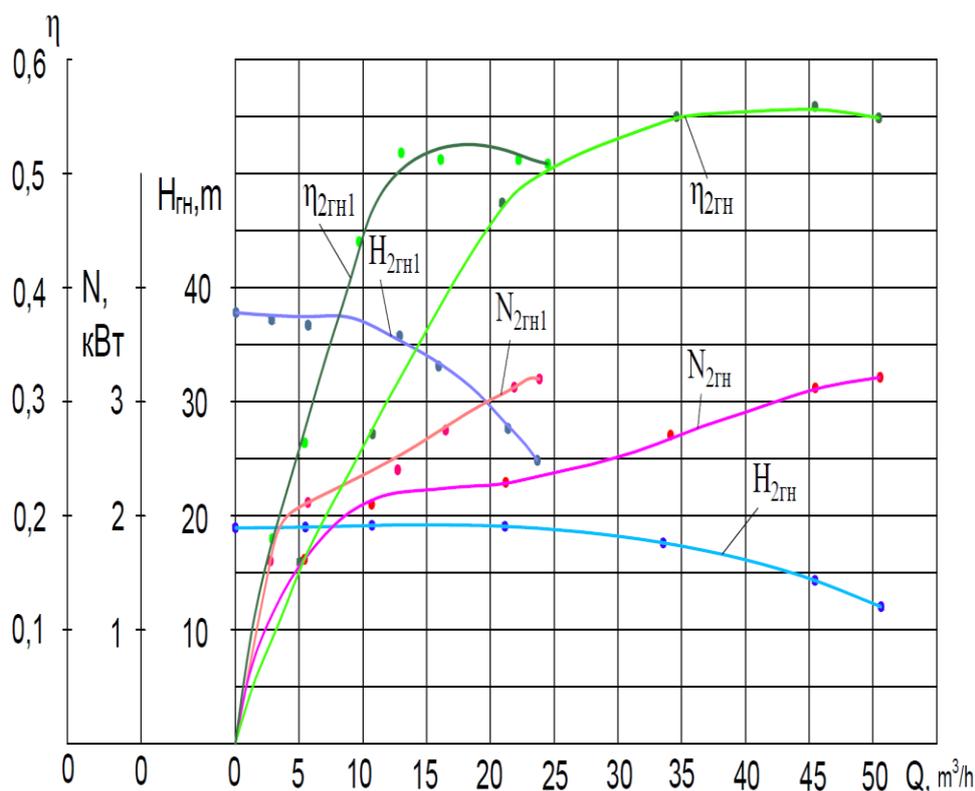


Рисунок 4.13 - Результаты лабораторных сравнительных испытаний гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса CP 220B для двух вариантов технологического процесса

#### Выводы по разделу 4

1. В результате проведённых исследований экспериментального образца гидроструйной насосной установки, определены зависимости подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{1ГН1}, Q_{1ГН}$  и  $Q_{2ГН1}, Q_{2ГН}$  и общей  $Q_{1ГНУ1}, Q_{1ГНУ}$  и  $Q_{2ГНУ1}, Q_{2ГНУ}$  от подачи  $Q_H$  центробежного насоса CP 220 В для вариантов 1 и 2 технологического процесса, на основании которых подтверждена достоверность теоретических формул данных зависимостей с расхождением в 3-5%.

2. В струйных насосах с подсосом воды и атмосферного воздуха экспериментальным путем определены: потери напора  $h_{сн}$  и коэффициенты местных сопротивлений  $\xi_{сн}$ , которые составили для варианта 1  $h_{сн}= 1,2м - 6,1м$  и  $\xi_{сн}=3,4-3,6$ , а для гидроструйной насосной установки варианта 2  $h_{сн}= 0,2 м - 1,6 м$  и  $\xi_{сн}=3,4-3,6$ ; вакуумные напоры  $H_{вак1}$  и  $H_{вак2}$ , создающие в струйных насосах - от 1,38 м до 7,5м при средних значениях соответственно 1,9 м и 5,8 м. Достоверность теоретических формул по определению потерь напора  $h_{сн}$  и коэффициентов местных сопротивлений  $\xi_{сн}$  и вакуумных напоров  $H_{вак1}$  и  $H_{вак2}$  подтверждено экспериментально - расхождение экспериментальных значений от теоретических соответственно составляет 2-3 % и 3-5%.

3. Анализ экспериментальных данных показывает, что при одинаковых исходных гидравлических параметрах струйного насоса, коэффициент эжекции

$K_3$  от использования закручивающего (вихревого) способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса повышается в 1,47 раза по сравнению с прямоточным способом подвода воды. Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки.

4. На основании лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса СР 220В для обеих вариантов технологического процесса доказана эффективность её использования по альтернативной технологии водоподъёма в сравнении с традиционной, а именно снижение потребного напора в 1,5-2 раза, повышении полезной подачи в 2-4 раза и увеличении КПД в 1,1-2 раза.

## 5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДЪЕМА И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ РЕАЛИЗАЦИИ

### 5.1 Выбор методики технико-экономического обоснования разработки

Экономическая эффективность разработки по принятому направлению исследований зависит от эффективности выбранной технологии водоподъема и работающей по ней гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, которая должна заменить базовую насосную установку аналогичного назначения. На этом основании обоснованно была принята методика сравнения эффективности новой разработанной гидроструйной насосной установки ГНУ6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения по сравнению с базовой струйной насосной установкой ВН-2-8, аналогичной по технологическому процессу и назначению. Базовая насосная установка ранее применялась для подъема воды из скважин диаметром 8 дюймов в системе сельскохозяйственного водоснабжения АПК РК.

Технико-экономическое обоснование выполненной разработки по гидроструйной насосной установке выполнено по специальным методикам [96-100] в соответствии с ГОСТ 2328-88, ГОСТ 23730-88 и по разработанной [21] с использованием исходных данных и с учётом рыночных цен на 01.08.2019г.

Технико-экономическое обоснование заключалось в определении основных показателей базовой и разработанной насосных установок: балансовых цен; годовой выработки и годовых загрузок; удельных эксплуатационных затрат: отчислений на реновацию, на ремонт и техобслуживание, затрат на зарплату и электроэнергию; годового и общего экономического эффекта от выполненной разработки и срока окупаемости дополнительных капитальных вложений новой насосной установки.

Основные показатели определялись по расчётным формулам:

Расчётная годовая выработка определялась по формуле

$$P = q_{сут} \cdot T_{д} , \text{ м}^3 \quad (5.1)$$

где  $q_{сут} = 25 \text{ м}^3$  и 180 – расчётное суточное водопотребление для условий пастбищного водоснабжения с учётом полива приусадебных земельных участков;

$T_{д} = 265$  дней - годовой период сельскохозяйственного и пастбищного водоснабжения.

Фактическая годовая выработка для сравниваемых насосных установок устанавливалась по зависимостям

- для базовой насосной установки:

$$\Pi_6 = Q_6 \cdot t_{cm} \cdot \eta_{cm} \cdot T_d, \text{ М}^3 \quad (5.2)$$

- для новой насосной установки:

$$\Pi_n = Q_n \cdot t_{cm} \cdot \eta_{cm} \cdot T_d, \text{ М}^3 \quad (5.3)$$

где  $Q_6, Q_n$  – фактическая подача базовой и новой насосных установок,  $\text{М}^3/\text{ч}$ ;

$t_{cm} = 8$  ч – сменное рабочее время в период водоснабжения;

$\eta_{cm}$  – коэффициент использования рабочего времени смены:

$$\eta_{cm} = \frac{T_q}{T_q + T_{TO}}, \quad (5.4)$$

где  $T_q$  – чистое время работы насосной установки за смену:

$$T_q = t_{cm} - T_{TO}, \text{ ч} \quad (5.5)$$

где  $T_{TO} = 0,9$  ч - время на техобслуживание насосной установки (по хронометражным данным).

Нормативная годовая загрузка определялась, как

$$T_H = t_{cm} \cdot T_d \quad (5.6)$$

Фактическая годовая загрузка была установлена по зависимости

$$T_\phi = \frac{\Pi}{Q \cdot \eta_{cm}}, \text{ ч}, \quad (5.7)$$

Балансовая цена насосной установки рассчитана по формуле

$$C_B = C_0 \cdot K, \text{ тенге} \quad (5.8)$$

где  $C_0$  – рыночная цена гидроструйной насосной установки, тенге;

$K = 1,2$  коэффициент перевода оптовой цены в балансовую с учетом расходов на транспортирование и монтаж насосной установки.

Отчисления на реновацию определялись по зависимости

$$C_A = \frac{C_B \cdot A}{\Pi}, \text{ тенге/М}^3, \quad (5.9)$$

Отчисления на ремонт и техобслуживание рассчитаны по формуле

$$C_p = \frac{C_b \cdot R \cdot \frac{T_\phi}{T_H}}{П}, \text{ тенге/м}^3, \quad (5.10)$$

Отчисления на зарплату устанавливались по формуле

$$C_3 = \frac{3 \cdot T_\phi \cdot Л}{П}, \text{ тенге/м}^3, \quad (5.11)$$

где 3 – месячная заработная плата обслуживающего персонала:

$$3 = \frac{3_{\min}}{T_M}, \text{ тенге/м}^3 \quad (5.12)$$

где  $3_{\min} = 19966$  тенге – минимальная установленная заработная плата Законом РК («О республиканском бюджете на 2014-2016 годы»). Фактическая минимальная заработная плата с учётом доплаты в конкретных хозяйствах АПК РК принимается 35000 тенге. Для расчёта принимаем  $3_{\min} = 35000$  тенге и  $3 = 145,8$  тенге/ч;

$T_M = 240$  ч - нормативная месячная загрузка.

Затраты на электроэнергию составили

$$C_э = \frac{C_э \cdot N_э \cdot T_\phi}{П}, \text{ тенге/м}^3, \quad (5.13)$$

где  $C_э$  – стоимость 1 кВт.ч электроэнергии, тенге ( $C_э = 16,53$  тенге);

$N_э = 3,6$  кВт – потребляемая мощность базовой насосной установки.

Удельные эксплуатационные затраты определены по формуле

$$3_y = C_3 + C_э + C_A + C_p, \text{ тенге/м}^3 \quad (5.14)$$

Годовой экономический эффект от использования одной новой насосной установки по сравнению с базовой насосной установкой составил

$$\mathcal{E}_Г = (3_{yB} - 3_{yH}) \cdot П_H, \text{ тенге}, \quad (5.15)$$

где  $3_{yB}, 3_{yH}$  – удельные эксплуатационные затраты базовой и новой насосных установок, тенге/м<sup>3</sup>;

$П_H$  – годовая выработка новой насосной установки, м<sup>3</sup>.

Величину общего экономического эффекта от выполненной разработки по РК определили по зависимости

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_r \cdot i_{HY}, \text{ тенге,} \quad (5.16)$$

где  $i_{HY} = 6,5$  тыс. шт – прогнозируемый объем применения гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для нужд Казахстана по научным проработкам КазНАУ [21].

Срок окупаемости капитальных вложений новой насосной установки рассчитали по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_n}{C_n + \mathcal{E}_r}, \text{ года} \quad (5.17)$$

где  $K_n$  - капвложения новой насосной установки ( $K_n = C_{BH}$ ), тенге

$C_{BH}$  – балансовая цена новой гидроструйной насосной установки, тенге;

$C_n$  - годовые эксплуатационные издержки новой гидроструйной насосной установки:

$$C_n = 3_{у.нов} \cdot П, \text{ тенге.} \quad (5.18)$$

## **5.2 Сравнение эффективности предлагаемой и базовой насосной установки**

### **5.2.1 Исходные данные для сравнительного технико-экономического анализа предлагаемой разработки**

Исходные данные для сравнительного технико-экономического обоснования выполненной разработки приведены в таблице 5.1. Здесь представлены необходимые данные по базовой насосной установке ВН - 2-8 и по новой насосной установке ГНУ-6-25-20 для выполнения расчёта по приведённым формулам (5.1) – (5.18) .

Таблица 5.1 - Исходные данные для обоснования экономической эффективности предлагаемой гидроструйной насосной установки по сравнению с базовой

№ п/п	Наименование показателей	Обознач.	Ед. изм.	Новая насосная установка		Базовая насосная установка	
				ГНУ-6-25-20		ВН - 2-8	
				Величина	Источник	Величина	Источник
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тип насосной установки			Гидроструйная		Водоструйная	
2	Подача: а) за единицу чистого времени	Q	м <sup>3</sup> /ч	25	Техническая характеристика	9,8	Техническая характеристика
	Подача: б) за единицу сменного времени	Q <sub>см</sub>	дм <sup>3</sup> /с	22,25	Расчет	8,7	Расчет
3	Высота водоподъёма	H	м	30	Техническая характеристика	28	Техническая характеристика
4	Суточное водопотребление	q <sub>сут</sub>	м <sup>3</sup>	178	Расчет	69,6	Расчет
5	Количество обслуживающего персонала	L	чел.	1	Техническая характеристика	1	Техническая характеристика
6	Потребляемая мощность	N <sub>в</sub>	кВт	2,65	Техническая характеристика	3,6	Техническая характеристика
7	Годовая выработка	P	м <sup>3</sup>	47170	Расчет	18474	Расчет
8	Годовая загрузка	T <sub>ф</sub>	ч	2120	Расчет	2120	Расчет
9	Балансовая цена насосной установки	Ц <sub>б</sub>	тенге	379728	Расчет	353808	Расчет
10	Стоимость 1кВт.ч. электроэнергии	Ц <sub>э</sub>	тенге	16,53	Прейскурант цен	16,53	Прейскурант цен
11	Часовая ставка оплаты труда	З	тенге	145,8	Нормативы	145,8	Нормативы
12	Норма отчисления на реновацию водоподъёмника	A	%	16,6	Нормативы	16,6	Нормативы
13	Нормы отчислений на ремонт и техобслуживание	R	%	7,0	Нормативы	7,0	Нормативы

## 5.2.2 Обоснование основных показателей базовой и усовершенствованной насосной установки

На основании приведённых исходных данных (таблица 5.1), по расчётным формулам даны числовые значения: основных показателей базовой и разработанной насосных установок; годовой экономический эффект от использования новой насосной установки по сравнению с базовой; общий экономический эффект от выполненной разработки; срок окупаемости дополнительных капитальных вложений новой насосной установки (таблица 5.2) [21].

Таблица 5.2 - Техничко-экономические показатели эффективности усовершенствованной гидроструйной насосной установки

Наименование показателей	Ед. измерения	Новая насосная установка	Базовая насосная установка
		ГНУ-6-25-20	ВН-2-8
		Привод новой насосной установки	Привод базовой насосной установки
		Электросеть	Электросеть
Подача	м <sup>3</sup> /ч	25	9,8
Высота водоподъема	м	30	28
Потребляемая мощность	кВт	2,65	3,6
Годовая выработка	м <sup>3</sup>	47170	18474
Годовая загрузка	ч	2120	2120
Балансовая цена установки	тыс. тенге	379,728	353,808
Отчисления на реновацию	тенге/м <sup>3</sup>	1,34	4,32
Отчисления на ремонт и ТО	тенге/м <sup>3</sup>	0,56	1,34
Отчисления на зарплату	тенге/м <sup>3</sup>	6,55	16,76
Затраты на электроэнергию	тенге/м <sup>3</sup>	1,97	6,83
Удельные капвложения	тенге/м <sup>3</sup>	8,05	19,15
Удельные эксплуатационные затраты	тенге/м <sup>3</sup>	10,42	29,25
Годовой экономический эффект	тыс.тенге	888, 211	-
Общий экономический эффект от выполненной разработки по РК	тыс.тенге	5 773 371, 500	-
Срок окупаемости капвложений новой насосной установки	год	0,28	-

## 5.4 Определение экономической эффективности разработки

Годовой экономический эффект от использования одной гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения определяется по формуле (5.15):

$$\mathcal{E}_r = (Z_{уб} - Z_{ун}) \cdot P_n = (29,25 - 10,42) \cdot 47170 = 888,211 \text{ тыс. тенге,}$$

где  $Z_{уб}$ ,  $Z_{ун}$  – удельные эксплуатационные затраты базовой и новой насосных установок, тенге/ м<sup>3</sup>;

$P_n$  – годовая выработка новой насосной установки ( $P_n = 47170 \text{ м}^3$ ).

Экономический эффект от потребного количества гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения по Республике Казахстан определяется по формуле (5.16):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_r \cdot i_{ну} = 888,211 \cdot 6500 = 5\,773\,371,500 \text{ тыс. тенге}$$

где  $i_{ну}$  – 6500 шт – прогнозируемый объем применения гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для нужд Казахстана по научным проработкам КазНАУ [21].

Срок окупаемости капитальных вложений гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 определяется по формуле (5.17):

$$T_{ок} = \frac{K_n}{C_n + \mathcal{E}_r} = \frac{K_n}{C_n + \mathcal{E}_r} = \frac{379728}{491511 + 888211} = 0,28 \text{ года}$$

где  $K_n$  - капвложения новой насосной установки ( $K_n = C_{бн} = 379728 \text{ тенге}$ ), тенге

$C_{бн}$  – балансовая цена новой гидроструйной насосной установки, тенге;

$C_n$  - годовые эксплуатационные издержки усовершенствованной гидроструйной насосной установки (определяется по формуле (5.18):

$$C_n = Z_{у.нов} \cdot P = 10,42 \cdot 47170 = 491,511 \text{ тыс. тенге.}$$

Снижение эксплуатационных затрат

$$\frac{Z_{уб}}{Z_{ун}} = \frac{29,25}{10,42} = 2,8 \text{ раза.}$$

Экономический эффект разработанной гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения получен за счет снижения эксплуатационных затрат и составил с приводом от электросети – 888211 тенге. Общий эффект от потребного количества насосных установок одного типоразмера по Казахстану (6,5 тыс.шт.) может составить 5 773 371 500 тенге.

## **5.5 Маркетинговые исследования и предложения по реализации разработки**

### **5.5.1 Результаты маркетинговых исследований**

Исследования видов водоподъемного оборудования для подъема воды из скважин и шахтных колодцев в системах сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, а также бытового водоснабжения показали по внутреннему и внешнему рынкам, что преобладают следующие типы водоподъемного оборудования: электропогружные насосы типа ЭЦВ (для сельскохозяйственного и пастбищного водоснабжения и мелиорации), продавцы - Германия, Польша, Чехословакия, Россия, Литва, Молдова, Киргизстан, Казахстан и др.; шнуровой водоподъемник ВШП-50А и ленточный водоподъемник ВЛМ-100 (для пастбищных условий), продавец - Казахстан, завод ТОО «ЮКМЗ»; ветроводоподъемники (для пастбищ и бытовых условий), продавец – Россия (НПО «Ветроэн») и Казахстан (ТОО «КазНИИМЭСХ»); малогабаритные насосы типа «Малыш» и др. (для бытовых условий), продавец – Россия [10]. Электропогружные насосы ЭЦВ продаются через посреднические фирмы Казахстана (ТОО "Келет" и др.), водоподъемники ВШП-50А, ВЛМ-100 и ветроподъемники - на заводах-изготовителях, бытовые насосы - в магазинах.

Электропогружные насосы ЭЦВ продаются через посреднические фирмы Казахстана (ТОО "Келет" и др.), водоподъемники ВШП-50А, ВЛМ-100 и ветроподъемники - на заводах-изготовителях, бытовые насосы - в магазинах.

Электропогружные насосы ЭЦВ продаются через посреднические фирмы Казахстана (ТОО "Келет" и др.), водоподъемники ВШП-50А, ВЛМ-100 и ветроподъемники - на заводах-изготовителях, бытовые насосы - в магазинах.

Потребители АПК РК – это, прежде всего, крестьянские и фермерские хозяйства в равной степени отдадут предпочтение на покупку ленточного и шнурового водоподъемников в зависимости от того, какой водоисточник они имеют, а погружные электронасосы покупают для больших высот водоподъема (свыше 50 м) и где имеется обеспеченность в централизованной электросети. Потребители общего водоснабжения (ферма, населенный пункт и т.д.) и мелиорации отдадут предпочтение в приобретении погружных электронасосов.

Внутренний рынок гидросиловых насосных установок может быть пополнен перспективным водоподъемным оборудованием, разработанным в КазНИИМЭСХ и КазНАУ для скважин и шахтных колодцев: универсальным малогабаритным ленточным водоподъемником ВМЛ-63; пневмовакуумной (эрлифтной) насосной установкой УНП-3,6-50; двумя типоразмерами новых типов пакерных гидравлических устройств с эжектором УПГ-168М и УПГ-219М к погружным электронасосам типа ЭЦВ6 и ЭЦВ8 для освоения прогрессивной материалосберегающей технологии беструбного водоподъема (по обсадным трубам скважины) взамен обычной - по специальным стальным водоподъемным трубам, а также результатами выполненной работы - освоение производства усовершенствованной гидроструйной насосной установки ГНУ-

6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения и ГНУ-6-3,6-20 обводнения пастбищ для подъема воды из скважин и шахтных колодцев с динамическим уровнем воды до 20 м и проектной подачей 3,6 м<sup>3</sup>/ч и 25 м<sup>3</sup>/ч, которых в производстве в Казахстане, в странах СНГ и за рубежом нет.

Действующие цены водоподъемного оборудования для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ на внутреннем рынке составляют:

а) Для подъема воды из скважин:

1. Погружной насос типа ЭЦВ:

- без водоподъемных труб – 300...450 тыс.тенге;

- с водоподъемными трубами – 450...600 тыс.тенге;

2. Установка пастбищная электрифицированная УПЭ-6,3-85 – 530,3 тыс. тенге;

3. Установка пастбищная электрифицированная УПЭ-4-130 – 598 тыс. тенге;

4. Водоподъемник шнуровой пастбищный ВШП-50А – 510,2 тыс. тенге.

5. Для подъема воды из шахтных колодцев:

6. Водоподъемник ленточный ВЛМ-100 - 461,6 тыс.тенге;

Ориентировочная цена разработанной автором усовершенствованной гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения и ГНУ-6-3,6-20 обводнения пастбищ - 379,7 тыс.тенге.

Потребитель от использования новой гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 может получить годовой эффект 888,2 тыс.тенге на одну насосную установку по сравнению с базовой насосной установкой ВН-2-8. Типы рынков сбыта предлагаемых гидроструйных насосных установок - внутренний по республике, с созданием региональных сетей связи и пунктов реализации. В перспективе можно выйти на международные рынки в страны СНГ и за рубеж.

Спрос внутреннего рынка - фактическая потребность путем сбора заявок от потребителей на основании рекламы с охватом всего региона республики. Спрос внешнего рынка - заключение контрактов с зарубежными фирмами на основе широкой рекламы предлагаемых насосных установок, делового контакта и демонстрации выставочных образцов за рубежом.

За основу прогнозирования внутреннего рынка реализации предлагаемой конструкции принята потребность в водоподъемном оборудовании в зависимости от количества водоисточников, их статического распределения по основным показателям (дебиту, динамическому уровню, внутреннему диаметру, минерализации воды и содержания в ней абразивных частиц) и вероятности применения от основных параметров (подачи, высоты водоподъема, диаметального габарита насосной части, допустимых норм возможности эксплуатации по минерализации, содержанию абразивных частиц в воде и сезона использования).

По научным проработкам объем применения предлагаемой гидроструйной насосной установки составит 6,5 тыс.штук.

Конкуренция на рынках сбыта. Область деятельности по производству водоподъемно-технических средств - давно существующая и не подверженная быстрым изменениям, она постоянно пользуется спросом, особенно перспективные типы насосных установок, в том числе предлагаемая гидроструйная насосная установка. Результаты проведенных маркетинговых исследований по выполненной разработке показали, что разработанная автором усовершенствованная конструкция гидроструйной насосной установки для подъема воды из скважин конкурентоспособна на внутреннем и внешнем рынках сбыта и может найти применение в Республике Казахстан и далеко за ее пределами.

### **Выводы по разделу 5**

1. На основании выполненного расчета по определению технико-экономической эффективности усовершенствованной гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения подтверждена её эффективность использования для подъема воды из скважин. В результате сравнения с базовой водоструйной насосной установкой ВН-2-8 получен годовой экономический эффект на одну насосную установку в сумме 888,2 тыс.тенге за счет снижения эксплуатационных затрат в 2,8 раза. Общий эффект от внедрения разработки по Казахстану может составить до 5,77 млрд.тенге.

2. Положительные технико-экономические показатели новой гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 подтверждают её перспективность и необходимость внедрения в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

3. Результаты проведенных маркетинговых исследований по выполненной работе показали, что предлагаемая гидроструйная насосная установка ГНУ-6-25-20 конкурентоспособна на внутреннем и внешнем рынках сбыта и может найти применение в Республике Казахстан и за рубежом.

4. Даны предложения по реализации выполненной разработки: использования материала в проектных организациях в качестве методического пособия при разработке необходимых типоразмеров гидроструйной насосной установки для подъема воды из скважин и шахтных колодцев, в процессах обучения бакалавров, магистрантов и докторантов PhD в ВУЗах, а также включения данной темы в инновационные проекты, с целью внедрения в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании результатов проведённых патентных исследований, обзора работ и собственных исследований, разработана усовершенствованная конструктивно-технологическая схема гидроструйной насосной установки, которая работает по альтернативной технологии водоподъёма и является универсальной с использованием для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

2. Разработанная конструктивно–технологическая схема гидроструйной насосной установки обладает новизной и отличительными признаками по сравнению с аналогами, основной узел которой - струйный насос, защищен патентом на изобретение КЗ № 33182, а также на конструкцию общей конструктивно-технологической схемы защищен патентом на изобретение КЗ № 34749.

3. Разработанные два типоразмера гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и для обводнения пастбищ, позволят улучшить их технологические параметры по сравнению с аналогами, увеличить подачу в 2-4 раза, снизить потребный напор в 1,5-2 раза и увеличить КПД в 1,1-2 раза.

4. На основании теоретических исследований технологического процесса усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки и протекающих процессов в струйных насосах, получены формулы для обоснования основных технологических и технических параметров, которые являются основой для разработки необходимых типоразмеров гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

5. В результате исследований была разработана методика по обоснованию исходных, технологических и технических параметров усовершенствованной гидроструйной насосной установки для подъёма воды из скважин, на основании которой рассчитаны все необходимые параметры для двух вариантов насосной установки: для сельскохозяйственного водоснабжения и для обводнения пастбищ, что явилось основанием разработки экспериментального её образца для проведения экспериментальных исследований и лабораторных испытаний.

6. Проведённые исследования экспериментального образца гидроструйной насосной установки позволили определить зависимости подачи гидроструйной насосной установки полезной  $Q_{1гн1}$ ,  $Q_{1гн}$  и  $Q_{2гн1}$ ,  $Q_{2гн}$  и общей  $Q_{1гну1}$ ,  $Q_{1гну}$  и  $Q_{2гну1}$ ,  $Q_{2гну}$  от подачи  $Q_n$  центробежного насоса СР 220 В для двух вариантов при использовании струйного насоса с подсосом воды и от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха. На основании этого подтверждена достоверность теоретических формул данных зависимостей с расхождением в 3-5%.

7. Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что при одинаковых исходных гидравлических параметрах струйного насоса, коэффициент эжекции  $K_e$ , от использования закручивающего (вихревого)

способа подвода воды в приёмную камеру пассивного сопла струйного насоса повышается в 1,47 раза по сравнению с традиционным прямоточным способом подвода воды. Результаты экспериментальных исследований использованы при разработке экспериментального образца усовершенствованной гидроструйной насосной установки.

8. По результатам сравнительных лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса СР 220В для двух вариантов доказана эффективность предлагаемой технологии водоподъёма, которая по сравнению с традиционной технологией снижает величину потребного напора в 1,5-2 раза, повышает полезную подачу в 2-4 раза и увеличивает КПД в 1,1-2 раза.

9. Техничко-экономические расчеты показали, что годовой экономический эффект от одной предлагаемой насосной установки составляет 888,2 тыс.тенге за счет снижения эксплуатационных затрат в 2,8 раза. Общий эффект от внедрения разработки по Казахстану может составить до 5,77 млрд.тенге.

10. Результаты проведенных маркетинговых исследований по выполненной работе показали, что предлагаемые два типоразмера усовершенствованной гидроструйной насосной установки ГНУ-6-25-20 для сельскохозяйственного водоснабжения и ГНУ-6-3,6-20 для обводнения пастбищ конкурентоспособны на внутреннем и внешнем рынках сбыта и могут найти применение в Республике Казахстан и за рубежом.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Назарбаев Н.А. Қазақстан-2030. Барлық, қазақстандықтардың өсіп-өркендеуі, қауіпсіздігі және әл-ауқатының артуы. Ел Басшысының Қазақстан халқына жолдауы. Алматы: РМӨПБ-нің редакциялық-баспа бөлімі -1998.-112 б.
- 2 Усаковский В. М. Водоснабжение и водоотведение в сельском хозяйстве. -М.:Колос, 2002.-С.328.
- 3 Средства механизации и основы расчета систем сельскохозяйственного водоснабжения / М. В. Луговский, Л. Н. Кашеков, В. М. Усаковский, Н. П. Белозеров, П. К. Лихоеденко и П. Д. Хоружий. - М.: Машиностроение, 1969. – С.263.
- 4 Каплан Р.М., Яковлев А.А. Механизация водоснабжения на пастбищах. – Алма-Ата: Кайнар, 1986. – 184 с.
- 5 Турк В. И. Насосы и насосные станции. - М.: Стройиздат, 1961. -333 с.
- 6 Усаковский В. М. Водоснабжение в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1981– С.176-181.
- 7 Sh. A. Abdreshov, I.S. Seitassanov, A.A. Yakovlev, B.A.Zulpykharov & Zh.Z.Zhakupova Technology of water lifting from wells using an improved water jet pump installation // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN (P): 2249–6890; ISSN (E): 2249–8001 Vol. 9, Issue 6, Dec 2019, P.1155–1166.
- 8 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. Vol.13 (3) 1499-1513, September 2016.
- 9 A.A. Nietalieva, T.I. Espolov, A.A. Yakovlev, E.S. Sarkynov, Zh.Z. Zhakupova. WATER LIFTING FROM WELLS USING SUBMERSIBLE ELECTRIC PUMP AND SUCTION DEVICES // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN: 2277-3878, Volume-8, Issue-1, May 2019.
- 10 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: Книга.-Алматы: Изд. «Айтумар», 2018.-313с.
- 11 Ye.Kaipbayev, T.Yespolov, Ye.Sarkynov, A.Yakovlev, A.Aldiyarova. Investigation into water lifting from wells using vacuum (airlift) pump assembly for flooding of pastures // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET): Volume 9, Issue 1, January 2018, pp. 792–804.
- 12 Патент KZ № 33182. Струйный насос // Есполов Т.И., Сейтасанов И.С., Абдрешов Ш.А., Байжігіт А.К., Баспакова Г.Р., Жолаева Г.И., Оpubл.22.10.2018, бюл.№ 39.
- 13 Абдрешов Ш.А., Сейтасанов И.С. Исследование закрутки потока в насосах // Scientific Light: Журнал № 18(2018)-Wroclaw, Poland:2018.-ISSN 0548-7110.-С.3-4.
- 14 Сейтасанов И.С., Абдрешов Ш.А. Применение гидроэлеваторов на насосных станциях // Fundamentalis: Scientific Journal №18(2018)-Madrid, Spain:

.-ISSN-1817-5368.-С.3-4.

15 Абдрешов Ш.А. Результаты исследования гидроэлеваторов// Промышленный транспорт Казахстана: Журнал № 1(62)- Алматы.- ISSN 1814-5787.-С.158-163.

16 Абдрешов Ш.А., Алдиярова А. Е., Кайпбаев Е. Т. Результаты исследований усовершенствованной гидроструйной насосной установки// News. Of the national academy of sciences of the republic of kazakhstan. Series of geology and technical sciences: Volume 6, Number 444 (2020), ISSN 2224-52782020 -С14 – 22

17 Абдрешов Ш.А., Сейтасанов И.С., Яковлев А.А., Саркынов Е.С., Зулпыхаров Б.А. Обоснование усовершенствованной конструктивно-технологической схемы гидроструйной насосной установки // Материалы XIII международной научной конференции молодых ученых «Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане», 1 том, Тараз, 2019.- С.107-110.

18 Есполов Т.И., Сейтасанов И.С., Яковлев А.А., Саркынов Е.С., Зулпыхаров Б.А., Абдрешов Ш.А. Результаты исследований по совершенствованию гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ из скважин // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Фундаментальные основы инновационного развития науки и образования».- Пенза., 2019.- С.180-184.

19 Абдрешов Ш.А., Сейтасанов И.С., Яковлев А. А., Саркынов Е.С., Зулпыхаров Б.А. Теоретические предпосылки по технологическому процессу водоподъема из скважин гидроструйной насосной установки // Гидрометеор. и экология

20 Абдрешов Ш.А., Сейтасанов И.С., Яковлев А. А., Саркынов Е.С., Зулпыхаров Б.А. Результаты экспериментальных исследований и лабораторных испытаний разработанного образца гидроструйной насосной установки // Научный журнал «Исследования, результаты» № 4(84), Алматы, 2019.- С.260-265.

21 Абдрешов Ш.А. Методика обоснования и результаты определения исходных, технологических и технических параметров для гидроструйной насосной установки // Материалы XIII международной научной конференции молодых ученых «Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане», 1 том, Тараз, 2019.- С.110-112.

22 Абдрешов Ш.А., Сейтасанов И.С., Яковлев А. А., Саркынов Е.С., Зулпыхаров Б.А. Техничко-экономическое обоснование выполненной разработки по гидроструйной насосной установке // «Вестник» Алматинского университета энергетики и связи. № 4 (47), Алматы, 2019.- С.82-87.

23 ГОСТ Р 15.01-96 Порядок проведения патентных исследований – М.: Изд. стандартов, 1996.

24 РД 07-07-2.1-86 Методические указания. Порядок проведения патентных исследований в системе Госагропрома СССР.- М.: Госплан КазССР,1988.– С.3.

25 Кашеков Л.Я., Лихоеденко П.К. Конструкции и расчет водоструйных установок для подачи воды из шахтных и трубчатых колодцев. - М.: НПО «Машпром», 1964.

26 Кашеков Л.Я., Лихоеденко П.К. Применение водоструйных установок для сельскохозяйственного водоснабжения. – Вкн.: Механизация и автоматизация систем сельскохоз.водоснабжения.: Труды докладов конф. – М., 1965, С.95 -107.

27 Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л., Кашеков Л.Я. Струйные установки для глубокого подъема воды из скважин // Труды ВИЭСХ.Т.У.-М.1960.- С.65-99.

28 Подвидз Л.Г., Кирилловский Ю.Л., Кашеков Л.Я. Теоретические основы расчета струйных установок для глубокого водоподъема из скважин // Труды ВИЭСХ.Т.У1.-М.-1960.- С.5-27.

29 Гусак И.В. Исследование кольцевого водоструйного насоса с односторонним эжектированием. – Сб. трудов Кишинёвского сельхоз. института им.М.В. Фрунзе. Кишинёв, 1972, том 83, С.11 -26.

30 Карелин В.Я., Минаев А.В. Насосы и насосные станции. Госстройиздат. М.:-1986, С.59.

31 Разработать и провести исследования погружного водоподъёмного насоса с гидроциклонной приёмной камерой для очистки скважин: Отчёт о хоздоговорной НИР (закл.) / АКО КазНИИВХ. Руководитель А.И. Жангарин. № ГР 80002891. – Алма –Ата,1983, С.90.

32 Касымбеков Ж. К. Гидроциклонно – эжекторные технологии подъёма воды и очистки обводнительных сооружений. – Тараз: ИЦ «Аква», 1999.– 211 с.

33 Трусков М.М. Гидравлические исследования и основы расчёта насосно – эжекторного агрегата с циклонной приёмной камерой: Автореф. дис. канд.техн.наук. / Всесоюзный НИИ водоснаб. канализ., гидротехн.сооруж. и инж. гидрогеологии. – М.,1980. –С.20.

34 Серимбетов А.Е. Проектирование и расчет водозаборных сооружений. Тараз, изд. ТарГУ, 2005 г. С.230.

35 Мускевич Г. Е. Гидравлические исследования и расчёт водоструйных аппаратов (гидроэлеваторов): Автореф.дис. канд.техн.наук. / Московский гидромелиоративный институт: Изд.лит. по строительству, - М., 1971. – С.45.

36 Абдураманов А. А. Основы гидравлики гидроциклонных насосных установок. Автореф.дис. докт.техн.наук.М., 1987. – С.37.

37 Абдураманов А. А., Сейтасанов И. С. Исследования струйных насосов новой конструкции. / Международная научно-техническая конференция. Водные ресурсы: экологические аспекты их использования и охраны: Тез. докл. и сообщений. Жамбыл, 1996. – С.74-75.

38 Абдураманов А.А., Сейтасанов И.С., Струйный насос. Предварительный патент РК № 4751 от 16.06.1997, бюл. № 2.

39 Абдураманов А.А., Сейтасанов И.С.,Абиров А.А. Струйный насос. Предварительный патент РК № 8699 от 15.03.2000, бюл. № 3.

40 Абдураманов А.А.,Койбаков С.М.,Жоламанов Н.Ж. Струйный насос. Инновационный патент РК № 27958 от 25.12.2013, бюл. № 12.

41 Абдураманов А.А., Балгабаев Н.Н., Баджанов Б.М., Бимурзаев Н.К. Струйный насос. Инновационный патент РК № 29303 от 15.12.2014, бюл. №12.

42 Хохлов А. В., Хохлов В. А. Саморегулирующиеся струйные насосы // Гидротехническое строительство: Журнал №4.-М., 2001.-С.25-27.

43 Патент 1ДР04411.112. Саморегулирующийся струйный насос // Хохлов А. В., Хохлов В. А., Маджидов У. Х. Бюл.№4, 2000,-2с: ил.

44 Патент РФ № 2132969. Скважинная насосная установка для водозаборных скважин // Карелин В.А., ЛатуновС.В., Татанов Ю.И. Оpubл. 10.07.1999 г.

45 Александров В.В. Повышение эффективности мелиоративных насосных станций методом внедрения эжекции во всасывающие и напорные трубопроводы центробежных насосов//Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук. Волгоград-2012.

46 Александров В.В. Определеение максимальных скоростей подсосываемого потока на участке смешения в струйных насосах/ В.В. Александров, А.С.Тарасьянс, Ю.С.Уржумува, С.А.Тарасьянс //Гидротехническое строительство: материалы регион. Науч,-технич. конф, «Гидротехника, гидравлика и геология» (15 мая 2009 г., г. Новочеркасск) /ФГОУ ВПО «НГМА».- Новочеркасск: «ЛИК», 2009г.-Вып.2.-С.129-133.

47 Александров В.В. Технологический процесс эксплуатации насосных с эжектором на всасывающей и напорной линии насоса-нагнетателя. / В.В. Александров, Д.Н. Кольжанов //Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. - № 2(02).- 2011 г.[Электронный ресурс].- Режим доступа: [www/rosnirpm-srn.ru](http://www/rosnirpm-srn.ru).

48 Есполов Т.И., Сейтасанов И.С., Жандаулетова Ф.Р. Жулаева Г.И., Кайпбаев Е.Т.Струйный насос. Инновационный патент № 26287 от 15.10.2012, бюл. № 10

49 Сейтасанов И.С., Исследование закрученных потоков Известия национальной академии наук РК Серия Аграрных наук №3 июнь 2011, С.37-39

50 Жакупова Ж. З. Разработка типоразмеров и обоснование параметров пакерных гидравлических устройств к погружным электронасосам для водоподъема из скважин / Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD). Научный консультант, к.т.н., доцент Яковлев А. А. Зарубежный консультант Prof. Graziano Ghinassi (Firenze,Italia).

51 Ниеталиева А. А., Яковлев А. А. Обоснование конструктивно-технологической схемы насосной установки для подъёма воды из водозаборных скважин с использованием погружного электронасоса и всасывающих устройств на напорной части// Известия национальной академии наук Республики Казахстан. – Алматы: НАН РК, 2018 г., С.87-92. Серия аграрных наук 5(41). <https://doi.org/10.32014/2018.2224-526X>.

52 Ниеталиева А. А., Яковлев А. А. Обоснование технологии подъёма воды из скважин для пастбищного водоснабжения с использованием погружного электронасоса и всасывающих устройств и определение цели и задач исследований / Сборник научных материалов Международной зимней школы.-Алматы: КазНАУ, 2018, С. 246-249.

53 Ниеталиева А. А., Яковлев А. А. Результаты исследований по разработке схемы насосной установки для подъема воды из скважин с использованием погружного электронасоса и всасывающих устройств // Актуальные вопросы взаимодействия образования, науки и бизнеса: сборник статей Международной научно-практической конференции (30 января 2018 г., г. Москва). Электронный ресурс – М.: Импульс, 2018. – С.485-493.

54 Яковлев А. А., Саркынов Е. С., Ниеталиева А. А. К теоретическому обоснованию подачи насосной установки с погружным электронасосом // Повышение эффективности, надежности и безопасности гидротехнических сооружений: Сборник статей междунаучно-практической конференции. 22-23 мая 2018 г. Том 2. С.488-496.

55 Ниеталиева А. А., Яковлев А. А., Саркынов Е. С. Методика обоснования необходимых типоразмеров и параметров всасывающих устройств к погружным электронасосам для пастбищного водоснабжения из скважин // Сборник материалов XXIII Международной научно-практической конференции молодых ученых и студентов «Научная молодежь в аграрной науке: достижения и перспективы» в рамках проведения года Молодежи Республики Казахстан - Алматы, 26-27 апреля 2019 г. ТОМ 4. С 161-166.

56 Ниеталиева А. А., Яковлев А. А., Саркынов Е. С. Разработка теоретических предпосылок по технологии водоподъема из скважин с использованием погружного электронасоса ЭЦВ и воздуховсасывающего устройства // Известия национальной академии наук Республики Казахстан. – Алматы: НАН РК, 2019 г., С.21-28. Серия аграрных наук 1(49). <https://doi.org/10.32014/2019.2224-526X.3>.

57 Патент KZ №33313 Насосная установка с погружным электронасосом для водозабранных скважин / Есполов Т.И., Яковлев А.А., Саркынов Е.С., Зулпыхаров Б.А., Жакупова Ж.З., Кайпбаев Е.Т.

58 Ниеталиева А.А., Яковлев А.А., Саркынов Е.С. Расчет по определению технико-экономической эффективности насосной установки с использованием погружного электронасоса и всасывающих устройств // Научный журнал «Исследования, результаты» № 2(82), Алматы, 2019, с.293-302, ISSN 2304-3334

59 Патент РК № 30044. Пакерное устройство к погружному электронасосу // Яковлев А.А., Саркынов Е., Асанбеков Б.А., Тлеукулов А.Т., Жакупова Ж.З. Оpubл.15.06.2015, бюл.№ 6.

60 Патент KZ (13) В (11) 34749 Гидроструйная насосная установка для подъема воды из скважин // Есполов Т.И., Яковлев А.А.; Саркынов Е.; Сейтасанов И.С.; Зулпыхаров Б.А.; Жакупова Ж.З. Оpubл. 04.12.2020, бюл. №48

61 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.

62 Яковлев А.А., Саркынов Е. Теоретические исследования напорно-вакуумного способа водоподъема из водотоков // Агроинженерная наука – повышению эффективности АПК: материалы междунаучно-практической конференции: в 2-х книгах.-Алматы: Агроуниверситет, 2003.-Кн.2.- С.181-185.

63 Яковлев А.А., Саркынов Е. Обоснование параметров напорно-вакуумной насосной установки для подъема воды из водотоков // Вестник сельхоз.науки Казахстана: Журнал №9.-Алматы: ТОО Издательство «Бастау», 2005-С.61-62.

64 Kozhamkulov D., Sarkynov Y., Yespolov T., Yakovlev A., Zsuga K. Results of The Theoretical and Experimental Studies of The Water Lifting Technique Using the Hydropower of Watercourses.Vol.12(2) , 1187-1195, August 2015.

65 Предпатент 17788 KZ. Эжектор / Яковлев А.А., Саркынов Е. Оpubл. 15.09.2006, бюл.9.

66 Патент № 29910 KZ. Напорно-вакуумная насосная установка / Есполов Т.И., Яковлев А.А., Саркынов Е., Асанбеков Б.А. Патентообладатель-КазНАУ.Оpubл. 15.05.2015г., бюл.№5.

67 Яковлев А.А. Пневмокамерные водоподъёмники для пастбищного водоснабжения: Монография / А.А. Яковлев.- Алматы: Изд. «Айтумар», 2015. – С.245.

68 Яковлев А.А., Саркынов Е.С., Кайпбаев Е.Т. Обоснование конструктивно-технологической схемы пневмовакуумной (эрлифтной) насосной установки // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения: Сборник материалов международной научно-практической конференции (Костяковские чтения). Том II. – Москва, 2016. – С. 57-61.

69 Патент № 29677 KZ. Пневмовакуумная (эрлифтная) насосная установка / Яковлев А. А., Саркынов Е., Асанбеков Б. А., Тлеукулов А. Т., Жакупова Ж. З., Малау Р. С., Сайын А. С. Патентообладатель-КазНАУ. Оpubл. 16.03.2015, бюл.3.

70 Разработка нового типа пневмовакуумной (эрлифтной) насосной установки для подъёма воды из подземных водоисточников с использованием ресурсосберегающей технологии и повышающей качество поднимаемой воды: Отчёт о НИР (промежуточный)/ КазНАУ. №гос.рег. 0112РК00177. Руководитель А. А. Яковлев. -Алматы, 2012,-С.88.

71 Патент № 29678 KZ. Струйный тепловой модуль / Яковлев А. А., Саркынов Е., Асанбеков Б .А., Тлеукулов А. Т., Алиханов Д. М., Сапаров Н. М. Патентообладатель-КазНАУ. Оpubл. 16.03.2015г., бюл.№3.

72 Andrew Chadwick , John Morfett , Martin Borthwick. Hydraulics in Civil and Environmental Engineering February 19, 2013 by CRC Press Textbook – P.648.

73 R. P. Lambeck, Raymond P. Lambeck Hydraulic Pumps and Motors (Fluid Power and Control Hardcover: 176 pages Publisher: CRC Press (June 23, 1983)

74 G. I. Krivchenko. Hydraulic machines: turbines and pumps Lewis Publishers, 1994 Length.- P.414.

75 Michael Kasenow. Applied Ground-water Hydrology and Well Hydraulics Water Resources Publication, 2001 Length.- P.835.

76 ГОСТ 104 28-71. Насосы центробежные скважинные для воды с погружным электродвигателем. - М.: Стандартов, 1974. – С.34.

77 ГОСТ632-64 Обсадные трубы.

78 ГОСТ 22247-76 Насосы центробежные консольные общего назначения для воды. Общие технические условия.

- 79 Ухин Б.В., Гусев А.А. Гидравлика: Учебник. -М.: ИНФРА-М.-2010. - С.432.
- 80 Флексер Я.Н. Практикум по гидравлике, водоснабжению и гидросиловым установкам. –М.: Сельскохозяйственная литература, 1962.-С.280.
- 81 Тажибаев Л.Е. Основы водоснабжения и обводнения сельскохозяйственных районов Казахстана.- Алма-ата: Кайнар, 1969.- С.304.
- 82 ГОСТ Р15-201-2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство.- М.: изд.стандартов,-2000.
- 83 Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов // 2-е изд., перераб. и доп.- Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980.-С.168.
- 84 Веденин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. - М.: Колос, 1967.
- 85 Заволишин Ф.С., Манцев М.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. - М.:Колос, 1982. - 231 с.
- 86 РТМ. 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных. - М.: Стандартов, 1966. - 100 с.
- 87 Смирнов Н.В., Дунин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. - М.: Наука, 1965.- С.511.
- 88 Статистические методы обработки эмпирических данных. Рекомендация. - М.: Изд-во стандартов, 1978. - 232 с.
- 89 ГОСТ 24026-80. Исследовательские испытания. Планирование эксперимента. Термины и определения. - М.: Стандарт, 1980. - 18с.
- 90 Белов А. И. Математико-экономические расчеты в сельском хозяйстве. - Алма-Ата: Наука, 1965. – 202.
- 91 Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. – М.: Физматгиз., 1972. – 711 с.
- 92 Сейтасанов И.С., Альжанова К.А., Абдрешов Ш.А. Исследование гидроэлеваторов с закруткой всасываемого потока при гидротехническом и мелиоративном строительстве // Устойчивое развитие: региональные аспекты: Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции молодых учёных. Брест, Беларусь, 24-26 апреля 2019 г.-С.271-273.
- 93 Гупта А., Лилли Д., Сайред Н. Закрученные потоки. Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – С.589.
- 94 Лямаев Б.Ф. Гидроструйные насосы и установки. – М.: Машиностроение. 1988. – С277.
- 95 Victorin K. Untersuchung turbulenter Mischvorgänge Forschung auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. 1941.
- 96 Wilgand J. Bemessung von Dampfstrahlverdichten, VDI – Forschungsheft, 401, 1940.
- 97 Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-

конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.:Колос, 1980.– С.112.

98 Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: Экономика, 1977. – С.43.

99 Методика определения оптовых цен на новую продукцию производственно-технического назначения. - М.: Прейскурантиздат, 1974.

100 Нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники // Справочное приложение и ГОСТ 23728-7923730-79. Техника сельскохозяйственная. Методика экономической оценки. - М.: ЦНИИТЭМ, 1980.– С.297.

101 Нормы амортизационных отчислений на тракторы, транспортные средства, мелиоративные и землеройные машины и оборудование, используемое в сельском, водном и лесном хозяйствах. - М.: Госплан СССР, 1982. – С.22.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Патента КЗ № 33182 «Струйный насос»



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Описание изобретения к патенту KZ № 33182 «Струйный насос»



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) В (11) 33182

(51) F04F 5/02 (2006.01)

F04F 5/44 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

### К ПАТЕНТУ

(21) 2017/0176.1

(22) 14.03.2017

(45) 22.10.2018, бюл. №39

(72) Есполов Тлектес Исабаевич; Сейтасанов Ибрагим Сматавич; Абдрешов Шамиль Аскарлович; Байжігіт Амина Қаматайқызы; Баспакова Гаухар Рахметуллаевна; Жолаева Гульжаухар Ибрагимовна

(73) Некоммерческое акционерное общество "Казахский национальный аграрный университет"

(56) US5651664 (A), 29.07.1997

RU 2143061 C1, 20.12.1999

RU 2439381 C2, 10.01.2012

(54) **СТРУЙНЫЙ НАСОС**

(57) Изобретение относится к струйной технике, преимущественно к гидроэлеваторам и может быть использовано для транспортировки различных жидкостей в нефтедобывающей, химической, сельскохозяйственном и промышленном

водоснабжении и других областях народного хозяйства.

Технический результат, достигаемый изобретением заключается в повышении коэффициента эжекции и производительности струйного насоса с одновременным уменьшением расхода активной среды

Струйный насос состоит из приемной камеры 1 с тангенциальным прямоугольного сечения патрубком подвода пассивной среды 2, патрубка подвода высоконапорной активной среды 3 с соплом 4 и соосно ему установленной камеры смещения 5 с диффузором 6, при этом внутри патрубка подвода высоконапорной активной среды 3 установлена подпружиненная запорная конусообразная игла (затвор) 7, два кронштейна 8,9, направляющий стержень 10, а также имеется кольцевой обратный клапан 11 в сопле 4.

3.п. формулы 0, иллюстрации 2.

(19) KZ (13) В (11) 33182

Изобретение относится к струйной технике, преимущественно к гидроэлеваторам и может быть использовано для транспортировки различных жидкостей в нефтедобывающей, химической, сельскохозяйственном и промышленном водоснабжении и других областях народного хозяйства.

Изобретение позволяет повысить коэффициент эжекции и производительность струйного насоса с одновременным уменьшением расхода активной среды, за счет импульсной подачи активного потока и применения свойства закрученных струй, характеризующееся эффективной взаимодействующей способностью сопутствующих потоков, выраженное интенсивной передачей энергии активного потока пассивному и вовлечению ее в общий поток.

Изобретение относится к струйной технике, преимущественно к гидроэлеваторам и может быть использовано для транспортировки различных жидкостей в нефтедобывающей, химической, сельскохозяйственном и промышленном водоснабжении и других областях народного хозяйства.

Известен струйный насос, содержащий камеру смешения, диффузор, патрубки подвода активных и пассивных сред и сопло, в которой патрубки подвода сред установлены соосно с образованием трех отдельных каналов, причем внутренний и наружный - подвода пассивной среды, при этом внутренние поверхности патрубков подвода пассивной среды снабжены спиралевидной футеровкой. (Предварительный патент РК №4751, кл. F04F5/02, 1997)

Недостатком данного струйного насоса является низкая производительность, обусловленная неэффективным использованием энергии активного потока, причиной которого является то, что транспортируемый активный и всасываемый пассивный потоки прямооточные.

Известен жидкостно-газовый эжектор, содержащий приемную камеру с тангенциальным прямоугольного сечения патрубком ввода пассивной среды, патрубком подвода высоконапорной активной среды с соплом и соосно ему установленную камеру смешения (заявка Великобритании №1479849, кл. IE. 1977).

Однако данный жидкостно-газового эжектора обладает недостатками, в частности, наряду с малой производительностью и низким коэффициентом эжекции, он имеет большой расход активной среды.

Задачей предлагаемого изобретения является увеличение коэффициента эжекции и производительности с одновременным уменьшением расхода активной среды.

Технический результат, достигаемый изобретением заключается в повышении коэффициента эжекции и производительности струйного насоса с одновременным уменьшением расхода активной среды, за счет импульсной подачи активного потока и применения свойства закрученных струй, характеризующееся эффективной взаимодействующей способностью

сопутствующих потоков, выраженное интенсивной передачей энергии активного потока пассивному и вовлечению ее в общий поток.

Указанный технический результат достигается тем, что в струйном насосе, содержащем камеру смешения, диффузор, патрубки подвода активной и пассивной сред и сопло, в отличие от прототипа, внутри патрубка подвода активной среды установлена подпружиненная запорная конусообразная игла (затвор), два кронштейна, направляющий стержень, а также кольцевой обратный клапан в сопле.

На фиг.1 - представлен струйный насос, общий вид;

на фиг.2 - разрез по А-А на фиг.1.

Струйный насос состоит из приемной камеры 1 с тангенциальным прямоугольного сечения патрубком подвода пассивной среды 2, патрубка подвода высоконапорной активной среды 3 с соплом 4 и соосно ему установленной камеры смешения 5 с диффузором 6, при этом внутри патрубка подвода высоконапорной активной среды 3 установлена подпружиненная запорная конусообразная игла (затвор) 7, два кронштейна 8,9, направляющий стержень 10, а также имеется кольцевой обратный клапан 11 в сопле 4.

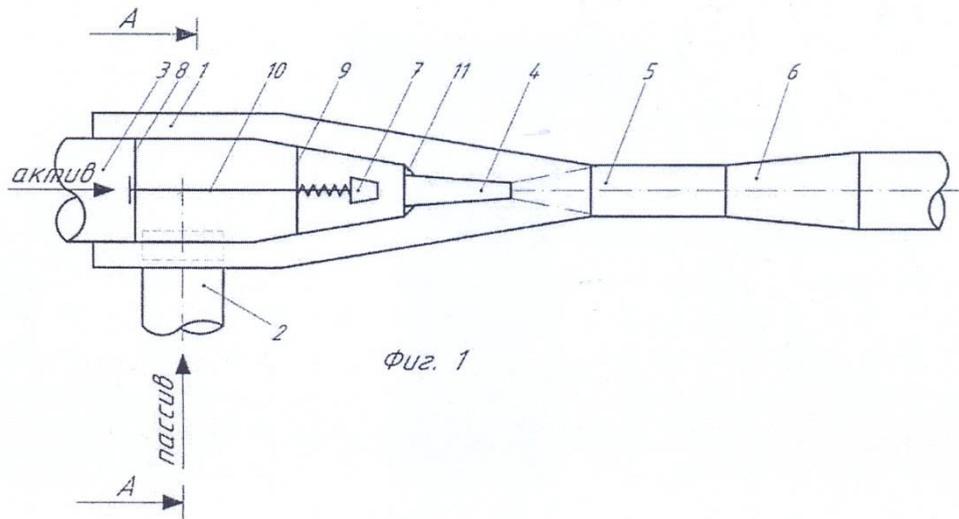
Струйный насос работает следующим образом: высоконапорная активная среда подается по патрубку подвода активной среды 3 и истекает через сопло 4. Когда давление активного потока превысит силу упругости пружины подпружиненная игла (затвор) 7 перекрывает сечение сопла 4 и истечение через нее прекращается, открывается концентрический кольцевой обратный клапан 11, давление понижается и подпружиненная игла (затвор) 7 перемещается в исходное положение, затем цикл повторяется, обеспечивая пульсирующий выход рабочей среды из сопла 4. Частицы из активной струи сообщают энергию и увлекают пассивную среду, которая поступает закручиваясь, приобретая вращательное движение по тангенциально установленному прямоугольного сечения патрубку подвода пассивной среды 2 в приемную камеру 1. Смесь активной и пассивной сред, смешиваясь в камере смешения 5, в диффузоре 6 теряет часть своей энергии, которая преобразуется в потенциальную энергию и транспортируется дальше.

Применение свойства закрученных струй, характеризующееся эффективной эжектирующей способностью, а также использование явления прироста тяги в эжекционном процессе с пульсирующей активной струей (Научное открытие: "Явление аномально высокого прироста тяги в газовом эжекционном процессе с пульсирующей активной струей". Авторы: В. Н. Челомей, О. И. Кудрин, А. В. Квасников. Номер и дата приоритета: №314 от 2 июля 1951 г. Дата регистрации открытия: 20 марта 1986 г.) приводит к повышению коэффициента эжекции и производительности струйного насоса с одновременным уменьшением расхода активной среды.

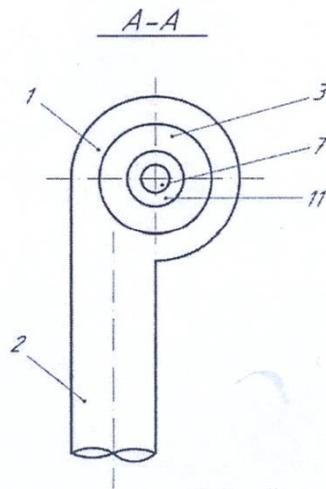
Осуществление технического решения производится применением известных материалов, элементов и технологии их изготовления, а гидравлический процесс, происходящий в струйном насосе, подчиняется известным законам гидромеханики.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Струйный насос содержащий камеру смешения, диффузор, патрубки подвода активных и пассивных сред и сопло, отличающийся тем, что внутри патрубка подвода активной среды установлена пружиненная запорная конусообразная игла (затвор), два кронштейна, направляющий стержень, а также кольцевой обратный клапан в сопле.



Фиг. 1



Фиг. 2

Верстка З. Абылкасымова  
Корректор Ф. Сопакова

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Патента КЗ № 34749 «Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин»

КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

**ПАТЕНТ**  
**PATENT**

№ 34749

**ӨНЕРТАБЫСҚА / НА ИЗОБРЕТЕНИЕ / FOR INVENTION**

 (21) 2019/0572.1

(22) 12.08.2019

(45) 04.12.2020

(54) Ұнғымалардан суды көтеруге арналған гидроағынды сорғы қондырғысы  
Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин  
Hydro-jet pumping unit for lifting water from wells

(73) «Қазақ ұлттық аграрлық университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы (KZ)  
Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный аграрный университет» (KZ)  
«Kazakh National Agrarian University» Non-Commercial Joint-Stock Company (KZ)

(72) Есполов Тлектес Исабаевич (KZ) Yespolov Tlektes Isabayevich (KZ)  
Яковлев Александр Александрович (KZ) Yakovlev Alexandr Alexandrovich (KZ)  
Саркынов Ербол (KZ) Sarkynov Yerbol (KZ)  
Сейтасанов Ибрагим Сматавич (KZ) Seitassanov Ibragim Smatovich (KZ)  
Зулпыхаров Бауыржан Аамалбекович (KZ) Zulpykharov Bauyrzhan Amalbekovich (KZ)  
Абрешов Шамиль Аскаревич (KZ) Abdreshov Shamil Askarovich (KZ)  
Жакупова Жанар Зиядовна (KZ) Zhakupova Zhanar Ziyadovna (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды  
Подписано ЭЦП  
Signed with EDS

Е. Оспанов  
Е. Оспанов  
Y. Ospanov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры  
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»  
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

# ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Описание изобретения к патенту KZ № 34749 «Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин»



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) KZ (13) B (11) 34749

(51) F04F 5/02 (2006.01)

F04F 5/46 (2006.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21) 2019/0572.1

(22) 12.08.2019

(45) 04.12.2020, бюл. №48

(72) Есполов Тлектес Исабаевич; Яковлев Александр Александрович; Саркынов Ербол; Сейтасанов Ибрагим Сматавич; Зулпыхаров Бауыржан Аманбекович; Абдрешов Шамиль Аскарлович; Жакупова Жанар Зиядовна

(73) Некоммерческое акционерное общество «Казакский национальный аграрный университет»

(56) Турк В.И. Насосы и насосные станции. -М.: Стройиздат, 1961 г., с.164-165;

KZ 20252 A, 17.11.2008

(54) **ГИДРОСТРУЙНАЯ НАСОСНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДЪЁМА ВОДЫ ИЗ СКВАЖИН**

(57) Изобретение относится к области насосостроения, в частности, к конструкции гидроструйной насосной установки с использованием центробежного и струйного насосов, создающих полезную подачу эжектированием водной струи, и может быть использована для подъёма воды из подземных водоисточников для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ.

Техническим результатом изобретения является улучшение технологических параметров гидроструйной насосной установки путем совершенствования технологического процесса водоподъёма по повышению надёжности его выполнения, повышению полезной подачи, КПД и коэффициента эжекции и снижению потребного напора.

Технический результат достигается тем, что центробежный насос гидроструйной насосной установки снабжён водовоздухоприёмной ёмкостью и соединён с ней всасывающим патрубком, обеспечивая подпор воды на всасывание насоса от

столба воды, находящегося в ёмкости, повышая надёжность выполнения технологического процесса и повышая коэффициент эжекции от использования всей подачи центробежного насоса на эжектирование, так как отвод полезной подачи потребителю осуществляется из ёмкости, не требуя напорной подачи центробежного насоса, повышая тем самым полезную подачу и КПД насосной установки.

Водоподъёмный трубопровод гидроструйной насосной установки снабжён струйным насосом, установленным всасывающим отверстием пассивного сопла выше динамического уровня воды в скважине для подсоса атмосферного воздуха, обеспечивая подъём воды в виде водо-воздушной смеси, снижающей потребный напор из-за уменьшения удельного веса водной массы в водоподъёмном трубопроводе, увеличивающей полезную подачу из-за уменьшения требуемого напора центробежного насоса и увеличение КПД насосной установки от повышения полезной подачи и снижения потребного напора.

Пассивное сопло водоструйного насоса с подсосом воды из скважины снабжено устройством закручивания потока напорной воды, например, в виде спирали, повышающей вакуумный напор и коэффициент эжекции.

Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин состоит из центробежного насоса, водовоздухоприёмной ёмкости, водонагнетаемого и водоподъёмного трубопроводов и двух струйных насосов, установленных соосно на водоподъёмном трубопроводе: один ниже динамического уровня воды в скважине для подсоса воды, а другой выше динамического уровня воды для подсоса атмосферного воздуха.

(19) KZ (13) B (11) 34749

Изобретение относится к области насосостроения, в частности, к конструкции гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса, установленного на поверхности, например, скважины, и струйных насосов - на водоподъёмном трубопроводе насосной части и может быть использована для подъёма воды из подземных водисточников для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ с улучшением технологических параметров насосной установки.

Известна водоструйная насосная установка с центробежным насосом для подъёма воды из шахтных колодцев (Луговской М.В., Усаковский В.М. и др. Средства механизации и основы расчёта систем сельскохозяйственного водоснабжения.-М., «Машиностроение», 1969, С.37-39), состоящая из струйного аппарата, центробежного насоса с электродвигателем и системы трубопроводов: напорной, водоподъёмной и нагнетательной труб, которые соединены: - на поверхности колодца водоподъёмная со всасывающим патрубком насоса, нагнетательная с нагнетательным патрубком насоса и с трубопроводом, подающим воду потребителю; - внутри колодца под динамическим уровнем напорная и водоподъёмная с водоструйным насосом.

Струйный аппарат (насос) состоит из: корпуса, приёмного клапана, помещённого в клапанной коробке и снабжённого фильтром, сопла активного, приёмной камеры, камеры смешения и диффузора.

Недостатком этой водоструйной насосной установки является потребность повышенного напора центробежного насоса для выполнения технологического процесса по традиционной технологии водоподъёма с низким коэффициентом эжекции  $Kэ \leq 0,5$ , снижающим основные параметры насосной установки: подачу и КПД, а также низкая надёжность запуска насосной установки в работу, требующая перед запуском заливки воды в корпус центробежного насоса.

Причиной недостатка является конструкция водоструйной насосной установки.

Известна водоструйная насосная установка с центробежным насосом для подъёма воды из скважин (Турк В.И. Насосы и насосные станции.-М.: Стройиздат, 1961, С.164-165, прототип), состоящая из центробежного насоса с электродвигателем, водоструйного насоса и трубопроводов из напорной, водоподъёмной и нагнетательной труб, которые на поверхности скважины соединены: водоподъёмная со всасывающим патрубком насоса, нагнетательная с нагнетательным патрубком насоса и с трубопроводом, подающим воду потребителю, а внутри скважины под динамическим уровнем воды напорная и водоподъёмная трубы соединены с водоструйным насосом.

Водоструйный насос состоит из чугунного корпуса, в котором имеются приёмная камера и изогнутый канал, в выходной конец последнего ввёрнуто сопло. Над соплом размещается камера смешения в виде полого цилиндра и диффузор. К приёмной камере привёрнута на резьбе клапанная

коробка, внутри неё помещается приёмный клапан с резиновой уплотнительной прокладкой, сообщающей полость приёмной камеры с фильтром, через который вода из скважины поступает в насос.

Недостатком водоструйной насосной установки для скважин является также потребность повышенного напора центробежного насоса для выполнения технологического процесса по традиционной технологии водоподъёма с низким коэффициентом эжекции  $Kэ \leq 0,5$ , снижающим основные параметры насосной установки: подачу и КПД, а также низкая надёжность запуска насосной установки в работу, требующая перед запуском заливки воды в корпус центробежного насоса. не возможно выполнение технологического процесса по альтернативной технологии водоподъёма для увеличения полезной подачи и КПД и снижения потребного напора насосной установки из-за отсутствия второго струйного насоса для подсоса атмосферного воздуха в водоподъёмный трубопровод, с целью подъёма воды в виде водо-воздушной смеси с значительно меньшим удельным весом поднимаемой воды.

Причиной недостатка является конструкция водоструйной насосной установки.

Задачей изобретения является создание универсальной гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ с улучшенными показателями: увеличением полезной подачи, КПД и коэффициента эжекции и снижения потребного напора.

Технический результат изобретения – улучшение технологических параметров гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса, установленного на поверхности скважины, и альтернативной технологии водоподъёма путем совершенствования технологического процесса по повышению полезной подачи и КПД и снижению потребного напора насосной установки за счёт подсоса воды и атмосферного воздуха из скважины в водоподъёмный трубопровод посредством установленных на нём, ниже и выше динамического уровня воды в скважине, струйных насосов, обеспечивающих создание вакуума от кинетической энергии подаваемой через них под напором воды. При этом полезная подача гидроструйной насосной установки создаётся за счёт подсоса воды и атмосферного воздуха струйными насосами из скважины в водоподъёмные трубы, уменьшая в них удельный вес подаваемой воды до оптимального значения, при котором уменьшается потребный напор и соответственно увеличивается подача центробежного насоса и полезная подача гидроструйной насосной установки, а также увеличивается коэффициент эжекции.

Технический результат достигается тем, что гидроструйная насосная установка для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ с использованием центробежного насоса, установленного на поверхности скважины, и струйных насосов - на

водоподъемном трубопроводе насосной части, состоящая из центробежного насоса с электродвигателем, водоструйного насоса и трубопроводов из напорной, водоподъемной и нагнетательной труб, которые на поверхности скважины соединены: водоподъемная со всасывающим патрубком насоса, нагнетательная с нагнетательным патрубком насоса и с трубопроводом, подающим воду потребителю, а внутри скважины под динамическим уровнем воды напорная и водоподъемная трубы соединены с водоструйным насосом, который состоит из корпуса, имеющего приёмную камеру и изогнутый канал с активным соплом, над которым размещается камера смешения в виде полого цилиндра и диффузор, к приёмной камере привёрнута на резьбе клапанная коробка, внутри неё помещается приёмный клапан, сообщающий полость приёмной камеры с фильтром, через который вода из скважины поступает в струйный насос, согласно изобретению, центробежный насос с электродвигателем снабжён водовоздухоприёмной ёмкостью и соединён с ней всасывающим патрубком, обеспечивая подпор воды на всасывание насоса от столба воды, находящегося в ёмкости, которая сообщена через соединительный патрубок с водоподъемным трубопроводом и имеет в нижней части отводной патрубком с задвижкой и отводным трубопроводом для подачи воды потребителю обводнения пастбища, а в верхней части имеется воздухоотводная крышка для сброса сжатого атмосферного воздуха при поступлении водовоздушной смеси, в целом снабжения центробежного насоса водовоздухоприёмной ёмкостью обеспечивает выполнение технологического процесса альтернативной технологии водоподъёма для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, значительно увеличивая полезную подачу гидроструйной насосной установки, повышая коэффициент эжекции и улучшая технологические параметры насосной установки и повышая надёжность запуска центробежного насоса; пассивное сопло струйного насоса с подсосом воды из скважины снабжено устройством закручивания потока напорной воды, например в виде спирали, повышающий вакуумный напор и коэффициент эжекции; водоподъемный трубопровод снабжён струйным насосом для подсоса атмосферного воздуха, установленного входным отверстием пассивного сопла выше динамического уровня воды в скважине, а пассивное сопло выполнено с обратным клапаном и ограничителем его хода, обеспечивая выполнение технологического процесса альтернативной технологии водоподъёма для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ, значительно увеличивая полезную подачу гидроструйной насосной установки, повышая коэффициент эжекции и улучшая технологические параметры насосной установки.

Причинно-следственная связь между техническим результатом и существенными признаками очевидна. Заявленная группа признаков

обеспечивает улучшение технологических параметров гидроструйной насосной установки с использованием центробежного насоса, установленного на поверхности скважины, и альтернативной технологии водоподъёма путем совершенствования технологического процесса по повышению полезной подачи и КПД и снижению потребного напора насосной установки за счёт подсоса воды и атмосферного воздуха из скважины в водоподъемный трубопровод посредством установленных на нём, ниже и выше динамического уровня воды в скважине, струйных насосов, обеспечивающих создание вакуума от кинетической энергии подаваемой через них под напором воды. При этом полезная подача гидроструйной насосной установки создаётся за счёт подсоса воды и атмосферного воздуха струйными насосами из скважины в водоподъемные трубы, уменьшая в них удельный вес подаваемой воды до оптимального значения, при котором уменьшается потребный напор и соответственно увеличивается подача центробежного насоса и полезная подача гидроструйной насосной установки, а также увеличивается коэффициент эжекции, т. е. технический результат достигается.

Сущность изобретения поясняется чертежом (Фиг.1).

Гидроструйная насосная установка для водоподъёма из скважин в системе сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ состоит из центробежного насоса 1, всасывающего патрубка 2, водовоздухоприёмной ёмкости 3, напорного патрубка насоса 4, угольника напорного патрубка 5, патрубка манометра 6, манометра 7, задвижки 8, патрубка задвижки 9, тройника 10, отводного патрубка тройника 11, обратного клапана 12, отводного трубопровода для потребителя 13, нагнетаемого трубопровода 14, угольника соединительного 15, струйного водоподсасывающего насоса 16, сопла активного струйного насоса 17, сопла пассивного струйного насоса 18, клапана всасывающего с фильтром 19, ограничителя хода всасывающего клапана 20, смесительной камеры с диффузором 21, трубки соединительной 22, струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха 23, активного сопла 24, пассивного сопла 25, обратного клапана пассивного сопла 26, ограничителя хода обратного клапана 27, муфты соединительной 28, трубопровода водоподъемного 29, скважины 30, оголовка скважины 31, угольника соединительного 32, соединительного патрубка ёмкости 33, крышки ёмкости воздухоотводной 34 и отводного патрубка 35 ёмкости с задвижкой 8 и отводным трубопроводом 13 для потребителя при водозаборе из ёмкости 3. Конструктивно-технологическая схема усовершенствованной гидроструйной насосной установки является универсальной и может использоваться для двух вариантов технологического процесса водоподъёма: вариант 1 - для сельскохозяйственного водоснабжения при напорной подаче потребителю, например в

водонапорную башню по традиционно-альтернативной технологии водоподъёма; вариант 2 – для обводнения пастбищ, не требующих напорной подачи потребителю, по альтернативной технологии водоподъёма при водозаборе из ёмкости для заполнения резервуаров водопойного пункта. Использование насосной установки позволяет: по первому варианту увеличить подачу в 4 раза, повысить КПД и уменьшить потребный напор в 2 раза; по второму варианту увеличить подачу и повысить КПД в 2 раза, уменьшить потребный напор и повысить коэффициент эжекции в 2 раза.

Технологический процесс. При первоначальном запуске гидроструйной насосной установки водовоздухоприёмная ёмкость 3 заполняется водой, далее запускается центробежный насос 1 и открытием задвижки 8 напорного патрубка насоса вода подаётся в трубопровод водонагнетательный 14, при этом задвижка 8 подачи воды потребителю находится в закрытом положении. Вода под напором, проходя через активные сопла 18 и 24 струйных насосов 16 и 23, создаёт в пассивных соплах 17 и 25 разрежение, в результате чего вода и атмосферный воздух из скважины 30 по всасывающим отверстиям пассивных сопел подаются в трубопровод водоподъёмный 29 в виде водо-воздушной смеси, увеличивая подачу и уменьшая в них удельный вес поднимаемой воды до оптимального значения  $\gamma_{\text{см.опт}} = 4900-5000 \text{ Н/м}^3$ . Водо-воздушная смесь из трубопровода 29 через соединительный угольник 32 и патрубок 33 подаётся в водовоздухоприёмную ёмкость 3, где атмосферный сжатый воздух отделяется от воды и выходит через воздухоотводную крышку 34 в атмосферу. После установившегося режима работы насосной установки: для варианта 1 при напорной подаче потребителю для сельскохозяйственного водоснабжения задвижкой 8 по манометру 7 устанавливается подача потребителю через обратный клапан 12 и отводной трубопровод 13; для варианта 2 при обводнении пастбищ открытием задвижки 8 отводного патрубка ёмкости 35 подаётся вода потребителю по отводному трубопроводу (заполнение резервуаров водопойного пункта), при этом должна быть отключена напорная подача потребителю. При повторном запуске насосной установки, технологический процесс повторяется. Во время остановки технологического процесса вода в трубопроводах удерживается обратными клапанами 19, 26 и 12.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин, состоящая из центробежного насоса с электродвигателем, водоструйного насоса и трубопроводов из напорной, водоподъёмной и нагнетательной труб, которые на поверхности скважины соединены: водоподъёмная со всасывающим патрубком центробежного насоса, нагнетательная с нагнетательным патрубком

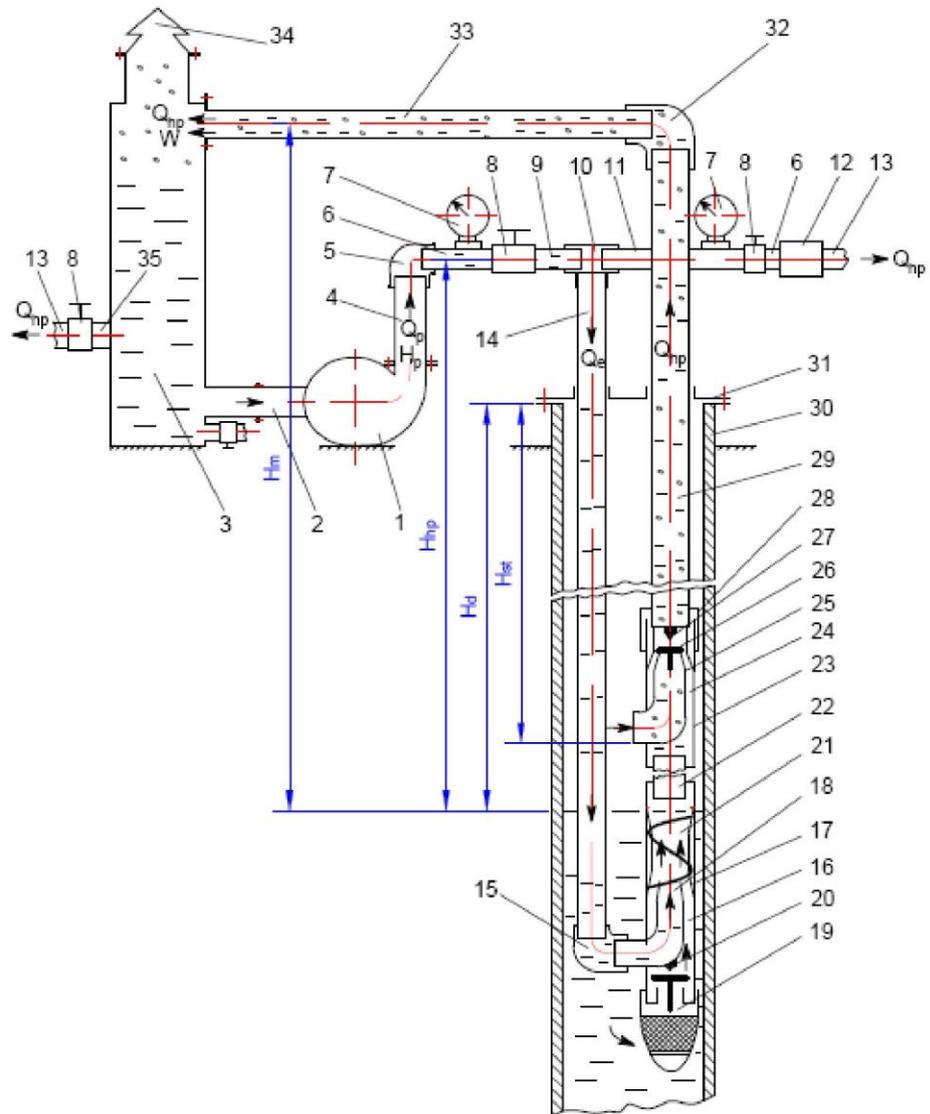
центробежного насоса и с трубопроводом, подающим воду потребителю, а внутри скважины под динамическим уровнем воды напорная и водоподъёмная трубы соединены с водоструйным насосом, включающим корпус в котором имеются приёмная камера и изогнутый канал с активным соплом, которое соосно размещается в камере смешения в виде полого цилиндра и диффузора, а к приёмной камере привёрнута на резьбе клапанная коробка, сообщающая полость приёмной камеры с фильтром, через который вода из скважины поступает в струйный насос, отличающаяся тем, что центробежный насос с электродвигателем снабжён водовоздухоприёмной ёмкостью и соединён с ней всасывающим патрубком, обеспечивая подпор воды на всасывание насоса от столба воды, находящегося в ёмкости, которая в нижней части имеет отводной патрубок с задвижкой и отводным трубопроводом для подачи воды потребителю обводнения пастбищ и расположен выше всасывающего патрубка насоса, а верхняя часть ёмкости сообщена с атмосферой через воздухоотводную крышку для сброса избыточного давления воздуха и соединена через соединительный патрубок с водоподъёмным трубопроводом, который снабжён струйным насосом, установленным всасывающим отверстием пассивного сопла выше динамического уровня воды в скважине, обеспечивая подсос атмосферного воздуха в водоподъёмный трубопровод и подъём воды в виде водовоздушной смеси.

2. Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин по п.1, отличающаяся тем, что водоструйный насос с подсосом воды из скважины выполнен из углообразного активного сопла, помещённого соосно в приёмную камеру с пассивным соплом, смесительной камерой и диффузором.

3. Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин по п.1 и 2, отличающаяся тем, что пассивное сопло водоструйного насоса с подсосом воды из скважины снабжено устройством закручивания потока напорной воды, например, в виде спирали.

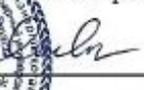
4. Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин по п.1, отличающаяся тем, что струйный насос для подсоса атмосферного воздуха выполнен из углообразного активного сопла, помещённого соосно в приёмную камеру с пассивным соплом, смесительной камерой и диффузором, установленного входным отверстием пассивного сопла выше динамического уровня воды в скважине и выполненного с обратным клапаном и ограничителем его хода.

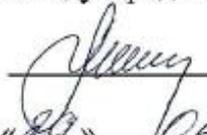
5. Гидроструйная насосная установка для подъёма воды из скважин по п.1 и 2, отличающаяся тем, что струйный насос для подсоса атмосферного воздуха снабжён подводным трубопроводом, обеспечивающим связь входного отверстия его пассивного сопла с атмосферным воздухом межтрубного пространства скважины.



Фигура

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**Акт о внедрении в учебный процесс КазНАУ результатов исследований**  
**докторской диссертации Абдрешова Ш.А.**

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор по учебной и учебно-методической работе  
  
 **Б.Б.Калыкова**  
06 2019 г.

**СОГЛАСОВАНО**  
Проректор по научной работе и международным связям  
 **А.П.Курдеко**  
«29» 06 2019 г.

**АКТ О ВНЕДРЕНИИ**

в учебный процесс Некоммерческого акционерного общества «Казахский национальный аграрный университет» (НАО КазНАУ) результатов исследований докторской диссертации Абдрешова Ш.А. по теме «Совершенствование технологии водоподъема из скважин с помощью гидроструйных насосных установок для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ».

Мы, нижеподписавшиеся, научный руководитель докторской диссертации, профессор кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» Сейтасанов Ибрагим Сматович и докторант Абдрешов Шамиль Аскарлович с одной стороны, и декан факультета «Водные, земельные и лесные ресурсы», доктор экономических наук, профессор Абаева Курманкуль Толеутаевна; заведующая кафедрой «Водные ресурсы и мелиорация», доктор PhD Алдиярова Айнура Ерсикеповна; начальник управления учебно-методической работы Ошакбаева Жулдыз Орынтаевна с другой, составили настоящий акт о том, что результаты исследований докторской диссертации Абдрешова Ш.А. по теме «Совершенствование технологии водоподъема из скважин с помощью гидроструйных насосных установок для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ» имеют теоретическое и практическое значение для учебного процесса.

Результаты докторской диссертации внедрены в учебный процесс университета:

- для бакалавров специальности: 5B080500 - «Водные ресурсы и водопользование», в лекционных курсах и практических занятиях на 2018 - 2019 учебный год по дисциплине NNS 3212 «Насосы и насосные станции»;
- для докторантов специальности: 6D080500 «Водные ресурсы и водопользование», в лекционных курсах и практических занятиях на 2018-2019 учебный год по дисциплине SNSOUSVOP 7307 «Современное насосно-силовое оборудование и устройства для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ».

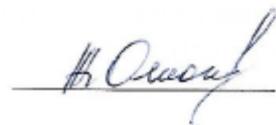
Результаты внедрения в учебный процесс:

1. Внедрено в учебный процесс новое направление исследований подъема воды из скважин с использованием центробежного насоса и струйных насосов, обеспечивающих подсос воды и атмосферного воздуха в водоподъемный трубопровод, повышая полезную подачу, снижая потребный напор и увеличивая коэффициент эжекции.

2. Внедренная в учебный процесс технология водоподъема позволяет повысить подачу насосной установки в 2-4 раза, снизить потребный напор насосной установки в 1,5 – 2 раза и повысить КПД насосной установки в 1,3-3,1 раза.

3. Результаты выполненной разработки в диссертационной работе и внедренные в учебный процесс, имеют научную и техническую новизну, которые подтверждены опубликованными научными статьями и защищенным патентом на изобретение KZ №33182 «Струйный насос», патентообладателем которого является НАО КазНАУ, а одним из авторов является докторант.

Результаты внедрения в учебный процесс бакалавров и докторантов кафедры «Водные ресурсы и мелиорация» НАО КазНАУ материалов по докторской диссертации Абдрешова Ш.А. позволили освоить новое направление исследований подъема воды из скважин, изучить особенности альтернативной технологии водоподъема, основы научных исследований, конструктивное исполнение усовершенствованной гидроструйной насосной установки, предназначенной для сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ на объектах АПК РК.



Начальник управления  
учебно-методической работы  
Ж. Ошакбаева



Декан факультета «Водные,  
земельные и лесные ресурсы»  
К. Абаева



Зав. кафедрой «Водные ресурсы и  
мелиорация»



А. Алдиярова  
Научный руководитель  
И. Сейтасанов



PhD докторант  
Ш. Абдрешов

# Производственные рекомендации о внедрении разработки НАО «КазНАУ» усовершенствованной гидроструйной насосной установки

## ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

о внедрении гидроструйной насосной установки для водоподъема из скважин, разработанной в НАО «КазНАУ»

г. Талгар

«28» 08 2019 года

Товарищество с ограниченной ответственностью «vTASBULAK» - бизнес – партнёр по освоению производства насосного оборудования рекомендует к внедрению разработанную в НАО «КазНАУ» гидроструйную насосную установку двух типоразмеров ГНУ6-3,6-20 и ГНУ6-25-20 полезной подачи 3,6 м<sup>3</sup>/ч и 25 м<sup>3</sup>/ч для водоподъема из скважин с динамическим уровнем воды до 20 м в системе сельскохозяйственного и пастбищного водоснабжения АПК РК.

Разработанная гидроструйная насосная установка работает по альтернативной технологии водоподъема и по сравнению с аналогами аналогичного назначения повышает полезную подачу насосной установки в 2-4 раза, снижает потребный напор насосной установки в 1,5 – 2 раза и повышает КПД насосной установки в 1,3-3,1 раза.

Предложенная к внедрению гидроструйная насосная установка обладают научной и технической новизной, защищена патентом на изобретение KZ №33182 «Струйный насос», патентообладателем которого является Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Казахский национальный аграрный университет», а авторами: Есполов Т.И. (KZ), Сейтасанов И.С.(KZ), Абдрешов Ш.А. (KZ), Байжігіт А.К. (KZ), Баспакова Г.Р. (KZ), Жолаева Г.И. (KZ).

Рекомендуемые для внедрения два типоразмера гидроструйной насосной установки ГНУ6-3,6-20 и ГНУ6-25-20 полезной подачи 3,6 м<sup>3</sup>/ч и 25 м<sup>3</sup>/ч для сельскохозяйственного и пастбищного водоснабжения будут конкурентоспособны на внутреннем и внешнем рынках сбыта, так как они работают по альтернативной технологии водоподъема, значительно улучшающие параметры по сравнению с аналогами, и могут найти применение в Республике Казахстан и за рубежом.

Директор  
ТОО «vTASBULAK»



Тазабеков М.Ж.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

**Параметры для построения графиков зависимости полезной и общей подачи гидроструйной насосной установки от подачи центробежного насоса и графиков сравнительных лабораторных испытаний**

Таблица Е.1 – Параметры полезной  $Q_{1gn1}$ ,  $Q_{1gn}$  и общей  $Q_{1gny1}$ ,  $Q_{1gny}$  подачи гидроструйной насосной установки от подачи  $Q_n$  центробежного насоса (вариант 1)

Обозначение	Значение параметров теоретических и экспериментальных							Примечание
	0	3	6	12	18	24	27	
$Q_{n,m}^3/h$	0	3	6	12	18	24	27	
$Q_{1gn1,m}^3/h$	0	1	2	4	6	8	9	Теор.
$Q_{1gn1,m}^3/h$	0	0,97	1,94	3,88	5,8	7,76	8,7	Экспер.
$Q_{1gn,y1m}^3/h$	0	4	8	16	24	32	36	Теор.
$Q_{1gny1,m}^3/h$	0	3,88	7,76	15,5	23,3	31,06	34,9	Экспер.
$Q_{1gn,m}^3/h$	0	4	8	16	24	32	36	Теор.
$Q_{1gn,m}^3/h$	0	3,88	7,76	15,5	23,3	31,06	34,9	Экспер.
$Q_{1gny,m}^3/h$	0	6,99	13,98	27,96	41,9	55,92	62,9	Теор.
$Q_{1gny,m}^3/h$	0	6,79	13,57	27,14	40,7	54,3	61,1	Экспер.

Таблица Е.2 – Параметры полезной  $Q_{2gn1}$ ,  $Q_{2gn}$  и общей  $Q_{2gny1}$ ,  $Q_{2gny}$  подачи гидроструйной насосной установки от подачи  $Q_n$  центробежного насоса (вариант 2)

Обозначение	Значение параметров теоретических и экспериментальных							Примечание
	0	3	6	12	18	24	27	
$Q_{n,m}^3/h$	0	3	6	12	18	24	27	
$Q_{2gn1,m}^3/h$	0	2,7	5,4	10,8	16,2	21,6	24,3	Теор.
$Q_{2gn1,m}^3/h$	0	2,62	5,2	10,48	15,7	20,9	23,6	Экспер.
$Q_{2gn,y1m}^3/h$	0	5,7	11,4	22,8	34,2	45,6	51,3	Теор.
$Q_{2gny1,m}^3/h$	0	5,5	11,07	22,1	33,2	44,3	49,8	Экспер.
$Q_{2gn,m}^3/h$	0	5,7	11,4	22,8	34,2	45,6	51,3	Теор.
$Q_{2gn,m}^3/h$	0	5,5	11,07	22,1	33,2	44,3	49,8	Экспер.
$Q_{2gny,m}^3/h$	0	8,7	17,4	34,8	52,2	69,6	78,3	Теор.
$Q_{2gny,m}^3/h$	0	8,4	16,9	33,8	50,68	67,5	76,01	Экспер.

Таблица Е.3 – Параметры сравнительных лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки по традиционной  $H_{1гн1}$ ,  $N_{1гн1}$ ,  $\Pi_{1гн1}=f(Q_{1гн1})$  и альтернативной  $H_{1гн}$ ,  $N_{1гн}$ ,  $\Pi_{1гн}=f(Q_{1гн})$  технологии водоподъема (вариант 1)

Обозначение	Значение параметров сравнительных лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки							Примечание
	0	1	2	4	6	8	9	
$Q_{1гн1,м^3/h}$	0	1	2	4	6	8	9	
$H_{1гн1,м}$	38	37,5	37	36	33,5	29	25	
$N_{1гн1,кВт}$	0	1,7	2,1	2,3	2,8	3,15	3,2	
$\eta_{1гн1}$	0	0,06	0,09	0,17	0,195	0,20	0,19	
$Q_{1гн1,м^3/h}$	0	4	8	16	24	32	36	
$H_{1гн1,м}$	19	18,75	18,5	18	16,75	14,5	12,5	
$N_{1гн1,кВт}$	0	1,7	2,1	2,3	2,8	3,15	3,2	
$\eta_{1гн1}$	0	0,12	0,19	0,341	0,391	0,401	0,383	

Таблица Е.4 – Параметры сравнительных лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки по традиционной  $H_{2гн1}$ ,  $N_{2гн1}$ ,  $\Pi_{2гн1}=f(Q_{2гн1})$  и альтернативной  $H_{2гн}$ ,  $N_{2гн}$ ,  $\Pi_{2гн}=f(Q_{2гн})$  технологии водоподъема (вариант 2)

Обозначение	Значение параметров сравнительных лабораторных испытаний гидроструйной насосной установки							Примечание
	0	2,7	5,4	12,8	16,2	21,6	24,3	
$Q_{2гн1,м^3/h}$	0	2,7	5,4	12,8	16,2	21,6	24,3	
$H_{2гн1,м}$	38	37,5	37	36	33,5	29	25	
$N_{2гн1,кВт}$	0	1,7	2,1	2,3	2,8	3,15	3,2	
$\eta_{2гн1}$	0	0,16	0,263	0,546	0,528	0,525	0,517	
$Q_{2гн2,м^3/h}$	0	5,7	11,4	22,8	34,2	45,6	51,3	
$H_{2гн2,м}$	19	18,75	18,5	18	16,75	14,5	12,5	
$N_{2гн2,кВт}$	0	1,7	2,1	2,3	2,8	3,15	3,2	
$\eta_{2гн2}$	0	0,171	0,273	0,486	0,557	0,571	0,546	

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Расчёт исходных, технологических и технических параметров усовершенствованной гидроструйной насосной установки для сельскохозяйственного водоснабжения (вариант 1), для обводнения пастбищ (вариант 2) и экспериментального образца

**Ж.1. Расчёт исходных, технологических и технических параметров на усовершенствованную гидроструйную насосную установку для сельскохозяйственного водоснабжения (вариант 1) для подъема воды из скважин:**

Поддача проектная определяется по формуле (3.1), где основным критерием обоснования принят максимальный суточный расход воды [10]:

$$Q_{\text{п}} = \frac{q_{\text{сут.мак}}}{t_{\text{см}} \cdot \eta_{\text{см}}} = \frac{180}{8 \cdot 0,89 \cdot 1} = 25,28 \text{ м}^3/\text{ч};$$

где  $Q_{\text{п}}$  – подача проектная насосной установки,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$t_{\text{см}}$  – рабочее время смены (принимается  $t_{\text{см}}=8$  ч), ч;

$q_{\text{сут.мак}}$  – максимальное суточное водопотребление на объекте ( $q_{\text{сут.мак}}=180 \text{ м}^3$ ) [4,10],  $\text{м}^3$ ;

$\eta_{\text{см}}$  – коэффициент использования рабочего времени смены для разрабатываемой насосной установки, определяется по формуле (3.3) [10]:

$$\eta_{\text{см}} = \frac{t_{\text{чр}}}{t_{\text{чр}} + t_{\text{то}}} = \frac{7,1}{7,1 + 0,9} = 0,89$$

где  $t_{\text{чр}}$  – чистое время работы насосной установки в смену ( $t_{\text{чр}} = t_{\text{см}} - t_{\text{то}} = 8 - 0,9 = 7,1$  ч), ч;

$t_{\text{то}}$  – время на техобслуживание насосной установки (по опытным данным  $t_{\text{то}}=0,9$ ч), ч.

Принимаем для дальнейших расчётов проектную подачу для насосной установки  $Q_{\text{п}}=25 \text{ м}^3/\text{ч}$  с вероятностью охвата по дебиту скважин в условиях сельскохозяйственного водоснабжения Казахстана  $K_Q=0,1$ .

Высота водоподъема для гидроструйной насосной установки определяется по формуле (3.4):

$$H_{\text{гн}} = H_{\text{гнв}} + h_{\text{п}} = H_{\text{д}} + h_{\text{р}} + h_{\text{п}}, = 20 + 1,5 + 26 = 47,5 \text{ м},$$

где  $H_{\text{гнв}}$  – высота водоподъёма водо-воздушной смеси гидроструйной насосной установки ( $H_{\text{гнв}} = H_{\text{д}} + h_{\text{р}} = 20 + 1,5 = 21,5 \text{ м}$ ), м;

$h_{\text{п}}$  – высота от отводного водоподъёмного трубопровода до потребителя

(водонапорной башни, по проектным данным типового проекта 901-5-29 Унифицированные башни заводского изготовления/ Системы Рожновского  $h_{\text{п}} = 14 - 26$  м, принимается максимальное значение), м;

$H_d$  – динамический уровень воды в водоисточнике (по данным [4, 10] принимается  $H_d = 20$  м), м;

$h_p$  – высота от оголовка скважины до излива в ёмкость или до напорных труб подачи воды потребителю в водонапорную башню (определяется конструктивно  $h_p = 1,5$  м), м.

Диаметральный габарит насосной части, опускаемой в скважину, определяется по формуле (3.6):

$$D_{нч} = D_{ск} - б = 150 - 6 = 144 \text{ мм},$$

где  $D_{ск}$  – внутренний диаметр рекомендуемой скважины, мм (принимается аналогично для шнурового водоподъёмника  $D_{ск} = 150$  мм [4,10]);

$б$  – зазор на диаметр, удовлетворяющий требованиям техники безопасности проведения спуско-подъёмных операций насосной части во внутрь скважины, мм (принимается  $б = 5-6$  мм) [4,10].

Диаметральный габарит насосной части гидроструйной насосной установки по конструктивным возможностям принимаем  $D_{нч} = 120$  мм.

Параметры поднимаемой воды принимаются аналогично для шнурового и ленточного водоподъёмников [4,10]: допустимая минерализация поднимаемой воды – до 5 г/дм<sup>3</sup>, допустимое содержание в воде твердых частиц (песка) – до 0,5 % по массе.

Температура окружающего воздуха для нормальной работы насосной установки принимается аналогично для эрлифтных насосных установок - до  $\pm 30^\circ\text{C}$  [10].

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 определяются по формулам (2.55) и (2.56):

$$Q_{1гн} = Q_n \cdot \left( \frac{K_{1э}}{1+K_{1э}} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right) = 0,0069 \left( \frac{0,9}{1+0,9} + \frac{9810-4950}{4950} \right) = 0,010 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (36 м}^3/\text{ч)}$$

$$Q_{1гн\text{у}} = Q_n \cdot \left( \frac{1+2K_{1э}}{1+K_{1э}} + \frac{\gamma - \gamma_{см}}{\gamma_{см}} \right) = 0,0069 \left( \frac{1+2 \cdot 0,9}{1+0,9} + \frac{9810-4950}{4950} \right) = 0,017 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (61,2 м}^3/\text{ч)}$$

где  $Q_n$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 1 (принимается  $Q_n = Q_{п}$ ), м<sup>3</sup>/с.

$\gamma$ ,  $\gamma_{см}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах ( $\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ ,  $\gamma_{см} = 4900 - 5000 \text{ Н/м}^3$ , принимаем среднее значение  $\gamma_{см} = 4950 \text{ Н/м}^3$ ), Н/м<sup>3</sup>;

$K_{1э}$  – коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 1 (принят  $K_{1э} = 0,9$ ).

Расход воды на эжектирование гидроструйной насосной установки:

$$Q_3 = Q_H = 0,0069 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (} 25 \text{ м}^3/\text{ч} \text{)}.$$

Потребный напор гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха определяется для варианта 1 по формуле (2.67):

$$\begin{aligned} H_{1\text{ГНУ}} &= \frac{H_{\text{ГНУ}}}{\gamma} \cdot \gamma_{\text{см}} + h_{\text{п}} + \frac{v_2^2 - v_{\text{ca1}}^2}{2g} + h_{1\text{л}} + h_{1\text{м}} = \frac{21,5}{9810} \cdot 4950 + 26 + \frac{2,2^2 - 3^2}{2 \cdot 9,81} + 0,05 H_{1\text{ГНУ}} = \\ &= 10,8 + 26 - 0,2 + 0,05 H_{1\text{ГНУ}} = 36,6 + 0,05 H_{1\text{ГНУ}} = \frac{36,6}{0,95} = 38,5 \text{ м}, \end{aligned}$$

где  $H_{\text{ГНУ}}$  - высота водоподъема гидроструйной насосной установки при подъеме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 1 (определена выше  $H_{\text{ГНУ}} = 21,5 \text{ м}$ ), м;

$\gamma$ ,  $\gamma_{\text{см}}$  - удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах (приняты выше  $\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$  и  $\gamma_{\text{см}} = 4950 \text{ Н/м}^3$ ),  $\text{Н/м}^3$ ;

$h_{\text{п}}$  - высота от отводного водоподъемного трубопровода до потребителя (водонапорной башни, принята выше  $h_{\text{п}} = 26 \text{ м}$ ), м;

$v_2$  - скорость воды в сечении 2-2 насосной части (на выходе из водоподъемного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 1 (принимается по опытным данным  $v_2 = 2,2 \text{ м/с}$ ), м/с;

$v_{1\text{ca}}$  - скорость воды в активном сопле струйного насоса для варианта 1 (принимается максимально допустимая в водоподъемном трубопроводе  $v_{1\text{ca}} = 3 \text{ м/с}$ ), м/с;

$h_{1\text{л}} + h_{1\text{м}}$  - суммарные потери по длине водоподъемного трубопровода и местные потери для упрощения расчёта принимаются равными 5% от потребного напора  $h_{1\text{л}} + h_{1\text{м}} = 0,05 H_{1\text{ГНУ}}$ , м.

Удельный вес  $\gamma_{1\text{см}}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах гидроструйной насосной установки определяется для варианта 1 по формуле (2.71):

$$\begin{aligned} \gamma_{1\text{см}} &= \frac{\gamma}{H_{\text{ГНУ}}} \cdot \left( H_{1\text{ГНУ}} + \frac{v_{\text{ca2}}^2 - v_2^2}{2g} - h_{\text{п}} - h_{1\text{л}} - h_{1\text{м}} \right) = \frac{9810}{21,5} \cdot \left( 38,5 + \frac{3^2 - 2,2^2}{2 \cdot 9,81} - 26 - 1,9 \right) \\ &= 456,3 \cdot (38,5 + 0,2 - 26 - 1,9) = 456,3 \cdot 10,8 = 4928 \text{ Н/м}^3, \end{aligned}$$

где  $\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ ,  $H_{\text{ГНУ}} = 21,5 \text{ м}$ ,  $H_{1\text{ГНУ}} = 38,5 \text{ м}$ ,  $v_{\text{ca2}} = v_{\text{ca1}} = 3 \text{ м/с}$ ,  $h_{\text{п}} = 26 \text{ м}$ ,  $h_{1\text{л}} + h_{1\text{м}} = 0,05 H_{1\text{ГНУ}} = 0,05 \cdot 38,5 = 1,9 \text{ м}$  (определены и приняты выше).

Полученное значение удельного веса  $\gamma_{1\text{см}} = 4928 \text{ Н/м}^3$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах гидроструйной насосной установки соответствует ранее принятому в расчёте значению  $\gamma_{1\text{см}} = 4950 \text{ Н/м}^3$  (расхождение 0,44%), поэтому уточнение его значения не требуется.

Полезная  $N_{\text{п}}$  и затраченная  $N_{1\text{ГНУ}}$  мощности и КПД  $\eta_{1\text{ГНУ}}$  гидроструйной

насосной установки определяются для варианта 1 по формулам (2.73), (2.74) и (2.75):

$$N_{1п} = 9,81 \cdot Q_{1гн} \cdot H_{1гн} = 9,81 \cdot 0,010 \cdot 47,5 = 4,66 \text{ кВт};$$

$$N_{1гн\text{у}} = \frac{N_{1п}}{\eta_{1гн\text{у}}} = \frac{9,81 \cdot Q_{1гн} \cdot H_{1гн}}{\eta_{1гн\text{у}}} = \frac{9,81 \cdot 0,010 \cdot 47,5}{0,726} = 6,42 \text{ кВт};$$

$$\eta_{1гн\text{у}} = \frac{N_{1п}}{N_{1гн\text{у}}} = \frac{Q_{1гн} \cdot H_{1гн}}{Q_{1гн\text{у}} \cdot H_{1гн\text{у}}} = \frac{0,010 \cdot 47,5}{0,017 \cdot 38,5} = 0,726$$

где 9,81 переводной коэффициент размерности Вт в кВт;

$Q_{1гн}$  - полезная подача гидроструйного насоса для варианта 1 (определена выше  $Q_{1гн} = 0,010 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H_{1гн}$  - высота водоподъема гидроструйного насоса для варианта 1 (определена выше по формуле (3.4)  $H_{1гн} = H_{гн} = 47,5 \text{ м}$ ), м;

$Q_{1гн\text{у}}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 1 (определена выше  $Q_{1гн\text{у}} = 0,017 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Вакуумный напор  $H_{1\text{вак}1}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{1\text{вак}2}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1 определяются по формулам (2.86) и (2.88):

$$H_{1\text{вак}1} = \frac{v_{1сa1}^2 - v_{1сn1}^2}{2g} - H_{\text{в}} = \frac{10,37^2 - 7,17^2}{2 \cdot 9,81} - 0,4 = \frac{107,54 - 51,41}{19,62} - 0,4 = 2,86 - 0,4 = 2,46 \text{ м};$$

$$H_{1\text{вак}2} = \frac{v_{1сa2}^2 - v_{1сn2}^2}{2g} = \frac{17,7^2 - 12,88^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{313,29 - 165,89}{19,62} = 7,5 \text{ м},$$

где  $v_{1сa1}, v_{1сn1}$  - скорость движения воды в активном и пассивном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 1 определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел, м/с:

$$v_{1сa1} = \frac{4Q_{1гн\text{у}1}}{\pi \cdot D_{1сa1}^2} = \frac{4 \cdot 0,010}{3,14 \cdot 0,035^2} = 10,37 \text{ м/с};$$

$$v_{1сn1} = \frac{4Q_{1гн\text{у}1}}{\pi \cdot D_{1сn1}^2} = \frac{4 \cdot 0,0069}{3,14 \cdot 0,035^2} = 7,17 \text{ м/с},$$

где  $Q_{1гн\text{у}1}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 1, для активного сопла определена выше ( $Q_{1гн\text{у}1} = 0,010 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

для пассивного сопла  $Q_{1гн\text{у}1} = Q_{\text{н}} = 0,0069 \text{ м}^3/\text{с}$ .

$D_{1сa1}, D_{1сn1}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйных насосов гидроструйной насосной установки для варианта 1 (приняты по опытным данным  $D_{1сa1} = 0,035 \text{ м}$  и  $D_{1сn1} = 0,035 \text{ м}$ ), м;

$H_B$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды (принимается конструктивно  $H_B = 0,4$  м), м;

$v_{1сп2}, v_{1са2}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном и воды в активном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 1, определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел, м/с:

$$v_{1са2} = \frac{4Q_{1гнy1}}{\pi \cdot D_{1са2}^2} = \frac{4 \cdot 0,017}{3,14 \cdot 0,035^2} = 17,7 \text{ м/с};$$

$$v_{1сп2} = \frac{4Q_{1гнy1}}{\pi \cdot D_{1сп1}^2} = \frac{4 \cdot 0,017}{3,14 \cdot 0,041^2} = 12,88 \text{ м/с},$$

Внутренние диаметры нагнетаемых и водоподъёмных труб  $d_{итр}$  гидроструйной насосной установки определяются по формуле (2.105) :

$$d_{нтр} = \left( \frac{4Q_{нтр}}{\pi \cdot v_{нтр}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,0069}{3,14 \cdot 3} \right)^{1/2} = 0,054 \text{ м (принимаем } d_{нтр} = 53 \text{ мм, труба } 60 \times 3,5 \text{ мм);}$$

$$d_{втр} = \left( \frac{4Q_{втр}}{\pi \cdot v_{втр}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 3} \right)^{1/2} = 0,092 \text{ м (принимаем } d_{втр} = 79,5 \text{ мм, труба } 88,5 \times 4 \text{ мм),}$$

где  $Q_{итр}$  - расход воды (водо-воздушной смеси) в трубах, м<sup>3</sup>/с;

$v_{итр}$  - допустимая скорость движения воды (водо-воздушной смеси) в трубах  $v_{итр} = 1,5-3,0$  м/с), м/с.

## **Ж.2. Расчёт исходных, технологических и технических параметров на усовершенствованную гидроструйную насосную установку для обводнения пастбищ (вариант 2) для подъема воды из скважин:**

Подача проектная определяется по формуле (3.1), где основным критерием обоснования принят максимальный суточный расход воды [10]:

$$Q_{п} = \frac{q_{сут.мак}}{t_{см} \cdot \eta_{см} \cdot i_{э}} = \frac{25}{8 \cdot 0,89 \cdot 1} = 3,51 \text{ м}^3/\text{ч}, (0,000975 \text{ м}^3/\text{с}),$$

где  $Q_{п}$  – подача проектная насосной установки, м<sup>3</sup>/ч;

$t_{см}$  – рабочее время смены (принимается  $t_{см} = 8$  ч), ч;

$q_{сут.мак}$  – максимальное суточное водопотребление на объекте ( $q_{сут.мак} = 25$  м<sup>3</sup>) [4,10], м<sup>3</sup>;

$\eta_{см}$  – коэффициент использования рабочего времени смены для разрабатываемой насосной установки, определяется по формуле (3.3) [10]:

$$\eta_{см} = \frac{t_{чр}}{t_{чр} + t_{то}} = \frac{7,1}{7,1 + 0,9} = 0,89,$$

где  $t_{чр}$  – чистое время работы насосной установки в смену ( $t_{чр} = t_{см} - t_{то} = 8$ -

0,9 = 7,1 ч), ч;

$t_{то}$  – время на техобслуживание насосной установки (по опытным данным  $t_{то} = 0,9$ ч), ч.

Принимаем для дальнейших расчётов проектную подачу для насосной установки  $Q_{п} = 3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ ) с вероятностью охвата по дебиту скважин в условиях обводнения пастбищ Казахстана  $K_Q = 0,1$ .

Высота водоподъема для гидроструйной насосной установки определяется по формуле (3.4):

$$H_{гн} = H_{гн\text{у}} = H_{д} + h_{р} = 20 + 1,5 = 21,5 \text{ м},$$

где  $H_{гн\text{у}}$  - высота водоподъема водо-воздушной смеси гидроструйной насосной установки ( $H_{гн\text{у}} = H_{д} + h_{р} = 20 + 1,5 = 21,5$ м), м;

$H_{д}$  – динамический уровень воды в водоисточнике (по данным [4,10] принимается  $H_{д} = 20$  м), м;

$h_{р}$  - высота от оголовка скважины до излива в (определяется конструктивно  $h_{р} = 1,5$  м), м.

Диаметральный габарит насосной части, опускаемой в скважину, определяется по формуле (3.6):

$$D_{нч} = D_{ск} - б = 150 - 6 = 144 \text{ мм},$$

где  $D_{ск}$  – внутренний диаметр рекомендуемой скважины, мм (принимается аналогично для шнурового водоподъемника  $D_{ск} = 150$  мм [4,10];

$б$  - зазор на диаметр, удовлетворяющий требованиям техники безопасности проведения спуско-подъемных операций насосной части во внутрь скважины, мм (принимается  $б = 5-6$  мм) [4,10].

Диаметральный габарит насосной части гидроструйной насосной установки по конструктивным возможностям принимаем  $D_{нч} = 120$  мм.

Параметры поднимаемой воды принимаются аналогично для шнурового и ленточного водоподъемников [4,10]: допустимая минерализация поднимаемой воды – до  $5 \text{ г}/\text{дм}^3$ , допустимое содержание в воде твердых частиц (песка) – до  $0,5 \%$  по массе.

Температура окружающего воздуха для нормальной работы насосной установки принимается аналогично для эрлифтных насосных установок - до  $\pm 30^\circ\text{C}$  [10].

Подача полезная  $Q_{2гн1}$  и общая  $Q_{2гн\text{у}1}$  определяются для варианта 2 по формулам (2.51) и (2.52):

$$Q_{2гн1} = \frac{K_{2э1}}{1 + K_{2э1}} \cdot Q_{2н} = \frac{0,9}{1 + 0,9} \cdot 0,001 = 0,00047 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$Q_{2\text{ГНУ1}} = \frac{1+2K_{2\varepsilon1}}{1+K_{2\varepsilon1}} \cdot Q_{2\text{Н}} = \frac{1+2 \cdot 0,9}{1+0,9} \cdot 0,001 = 0,00147 \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $K_{2\varepsilon1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 ( по опытным данным  $K_{2\varepsilon1} = 0,9$  ) ;

$Q_{2\text{Н}}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 2 ( принимается  $Q_{2\text{Н}} = Q_{\text{п}} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$  ( 3,6 м<sup>3</sup>/ч ), м<sup>3</sup>/с.

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{2\text{ГН}}$  (полезная) и общая  $Q_{2\text{ГНУ}}$  от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2 определяются по формулам (2.57) и (2.58):

$$Q_{2\text{ГН}} = Q_{\text{Н}} \cdot \left( K_{2\varepsilon1} + \frac{\gamma - \gamma_{\text{см}}}{\gamma_{\text{см}}} \right) = 0,001 \cdot \left( 0,9 + \frac{9810 - 4950}{4950} \right) = 0,001 \cdot (0,9 + 0,98) = 0,00188 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (6,77 м}^3/\text{ч)}.$$

$$Q_{2\text{ГНУ}} = Q_{\text{Н}} \cdot \left( 1 + K_{2\varepsilon1} + \frac{\gamma - \gamma_{\text{см}}}{\gamma_{\text{см}}} \right) = 0,001 \cdot \left( 1 + 0,9 + \frac{9810 - 4950}{4950} \right) = 0,001 \cdot (1,9 + 0,98) = 0,00288 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (10,37 м}^3/\text{ч)}.$$

где  $Q_{\text{Н}}$  – подача центробежного насоса гидроструйной насосной установки для варианта 2 ( принимается  $Q_{\text{Н}} = Q_{\text{п}} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$  ), м<sup>3</sup>/с.

$\gamma$ ,  $\gamma_{\text{см}}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах ( $\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ ,  $\gamma_{\text{см}} = 4900 - 5000 \text{ Н/м}^3$ , принимаем среднее значение  $\gamma_{\text{см}} = 4950 \text{ Н/м}^3$ ), Н/м<sup>3</sup>;

$K_{2\varepsilon1}$  - коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха для варианта 2 ( принят  $K_{2\varepsilon1} = 0,9$ );

Расход воды на эжектирование гидроструйной насосной установки:

$$Q_{\varepsilon} = Q_{\text{Н}} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с} \text{ (3,6 м}^3/\text{ч)}.$$

Потребный напор гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха определяется для варианта 2 по формуле (2.70):

$$H_{2\text{ГНУ}} = \frac{H_{\text{ГНУ}}}{\gamma} \cdot \gamma_{\text{см}} + \frac{v_3^2 - v_{\text{св2}}^2}{2g} + h_{\text{сн}} + h_{2l} + h_{2\text{М}} = \frac{21,5}{9810} \cdot 4950 + \frac{2,2^2 - 3^2}{2 \cdot 9,81} + 5 + 0,05 H_{2\text{ГНУ}} = 10,8 - 0,2 + 5 + 0,05 H_{2\text{ГНУ}} = 15,6 + 0,05 H_{2\text{ГНУ}} = \frac{15,6}{0,95} = 16,4 \text{ м},$$

где  $H_{\text{ГНУ}}$  - высота водоподъёма гидроструйной насосной установки при подъёме воды в виде водо-воздушной смеси для варианта 2 ( определена выше  $H_{\text{ГНУ}} = 21,5 \text{ м}$ ), м;

$\gamma$ ,  $\gamma_{\text{см}}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной

смеси в водоподъемных трубах ( приняты выше  $\gamma=9810 \text{ Н/м}^3$  и  $\gamma_{см}=4950 \text{ Н/м}^3$ ,  $\text{Н/м}^3$ ;

$v_3$  - скорость воды в сечении 3-3 насосной части (на выходе из водоподъемного трубопровода) гидроструйной насосной установки для варианта 2 (принимается по опытным данным  $v_2=2,2\text{м/с}$ ), м/с;

$v_{2ca}$  - скорость воды в активном сопле струйного насоса для варианта 2 (принимается максимально допустимая в водоподъемном трубопроводе  $v_{1ca}=3 \text{ м/с}$ ), м/с;

$h_{сн}$  - свободный напор гидроструйной насосной установки (принимается  $h_{сн}=5 \text{ м}$  для увеличения высоты водоподъема при альтернативной технологии водоподъема до 30м);

$h_{2l}+ h_{2м}$  – суммарные потери по длине водоподъемного трубопровода и местные потери для упрощения расчёта принимаются равными 5% от потребного напора  $h_{2l}+ h_{2м} = 0,05 \text{ Н}_{2гн\text{у}}$ ), м.

Удельный вес  $\gamma_{2см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах гидроструйной насосной установки определяется для варианта 2 по формуле (2.72):

$$\gamma_{2см} = \frac{\gamma}{\text{Н}_{гн\text{у}}} \cdot (\text{Н}_{2гн\text{у}} + \frac{v_{ca2}^2 - v_3^2}{2g} - h_{сн} - h_{2l} - h_{2м}) = \frac{9810}{21,5} \cdot (16,4 + \frac{3^2 - 2,2^2}{2 \cdot 9,81} - 0,82) \\ = 456,3 \cdot (16,4 + 0,2 - 5 - 0,82) = 456,3 \cdot 10,78 = 4919 \text{ Н/м}^3,$$

где  $\gamma = 9810 \text{ Н/м}^3$ ,  $\text{Н}_{гн\text{у}}=21,5 \text{ м}$ ,  $\text{Н}_{2гн\text{у}}=16,4 \text{ м}$ ,  $v_{ca2}= v_{ca1}=3\text{м/с}$ ,  $h_{2l}+ h_{2м}=0,05 \text{ Н}_{2гн\text{у}}=0,05 \cdot 16,4=0,82 \text{ м}$  (определены и приняты выше).

Полученное значение удельного веса  $\gamma_{1см} = 4919 \text{ Н/м}^3$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъемных трубах гидроструйной насосной установки соответствует ранее принятому в расчёте значению  $\gamma_{1см} = 4950 \text{ Н/м}^3$  (расхождение 0,63%), поэтому уточнение его значения не требуется.

до

Полезная  $N_{2п}$  и затраченная  $N_{2гн\text{у}}$  мощности и КПД  $\Pi_{2гн\text{у}}$  гидроструйной насосной установки определяются для варианта 2 по формулам (2.73), (2.74) и (2.75):

$$N_{2п} = 9,81 \cdot Q_{2гн} \cdot H_{2гн} = 9,81 \cdot 0,00188 \cdot 21,5 = 0,396 \text{ кВт};$$

$$N_{2гн\text{у}} = \frac{N_{2п}}{\Pi_{2гн\text{у}}} = \frac{9,81 \cdot Q_{2гн} \cdot H_{2гн}}{\eta_{2гн\text{у}}} = \frac{9,81 \cdot 0,00188 \cdot 21,5}{0,855} = 0,463 \text{ кВт};$$

$$\Pi_{2гн\text{у}} = \frac{N_{2п}}{N_{2гн\text{у}}} = \frac{Q_{2гн} \cdot H_{2гн}}{Q_{2гн\text{у}} \cdot H_{2гн\text{у}}} = \frac{0,00188 \cdot 21,5}{0,00288 \cdot 16,4} = 0,855$$

где 9,81 переводной коэффициент размерности Вт в кВт;

$Q_{2гн}$  - полезная подача гидроструйного насоса для варианта 2 (определена выше  $Q_{1гн} = 0,00188 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H_{2гн}$  - высота водоподъёма гидроструйного насоса для варианта 1 (определена выше по формуле (3.4)  $H_{1гн} = H_{гн} = 21,5 \text{ м}$ ),  $\text{м}$ ;

$Q_{1гн\text{у}}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 2 (определена выше  $Q_{1гн\text{у}} = 0,00288 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Вакуумный напор  $H_{2\text{вак}1}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{2\text{вак}2}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2 определяются по формулам (2.94) и (2.96):

$$H_{2\text{вак}1} = \frac{v_{2\text{ca}1}^2 - v_{2\text{сп}1}^2}{2g} - H_{\text{в}} = \frac{6,1^2 - 1,04^2}{2 \cdot 9,81} - 0,4 = \frac{37,21 - 1,08}{19,62} - 0,4 = 1,84 - 0,4 = 1,44 \text{ м};$$

$$H_{2\text{вак}2} = \frac{v_{2\text{ca}2}^2 - v_{2\text{сп}2}^2}{2g} = \frac{9,36^2 - 2,99^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{87,6 - 8,94}{19,62} = 4,01 \text{ м},$$

где  $v_{2\text{ca}1}, v_{2\text{сп}1}$  - скорость движения воды в активном и пассивном соплах струйного насоса с подсосом воды для варианта 2 определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел,  $\text{м}/\text{с}$ :

$$v_{2\text{ca}1} = \frac{4Q_{2гн\text{у}1}}{\pi \cdot D_{2\text{ca}1}^2} = \frac{4 \cdot 0,00188}{3,14 \cdot 0,0198^2} = 6,1 \text{ м}/\text{с};$$

$$v_{2\text{сп}1} = \frac{4Q_{2гн\text{у}1}}{\pi \cdot D_{2\text{сп}1}^2} = \frac{4 \cdot 0,001}{3,14 \cdot 0,035^2} = 1,04 \text{ м}/\text{с},$$

где  $Q_{2гн\text{у}1}$  - подача гидроструйной насосной установки для варианта 2, определяется для активного сопла (определена выше  $Q_{2гн\text{у}1} = 0,00188 \text{ м}^3/\text{с}$ , для пассивного сопла  $Q_{2гн\text{у}1} = Q_{\text{н}} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D_{2\text{ca}1}, D_{2\text{сп}1}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйных насосов гидроструйной насосной установки для варианта 2 (приняты по опытным данным  $D_{2\text{ca}1} = 0,0198 \text{ м}$  и  $D_{2\text{сп}1} = 0,035 \text{ м}$ ),  $\text{м}$ ;

$H_{\text{в}}$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды (принимается конструктивно  $H_{\text{в}} = 0,4 \text{ м}$ ),  $\text{м}$ ;

$v_{2\text{ca}2}, v_{2\text{сп}2}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном и воды в активном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха для варианта 2, определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел,  $\text{м}/\text{с}$ :

$$v_{2\text{ca}2} = \frac{4Q_{2гн\text{у}2}}{\pi \cdot D_{2\text{ca}2}^2} = \frac{4 \cdot 0,00288}{3,14 \cdot 0,0198^2} = 9,36 \text{ м}/\text{с};$$

$$v_{2\text{сп}2} = \frac{4Q_{2гн\text{у}2}}{\pi \cdot D_{2\text{сп}2}^2} = \frac{4 \cdot 0,00288}{3,14 \cdot 0,035^2} = 2,99 \text{ м}/\text{с}.$$

Внутренние диаметры нагнетаемых и водоподъемных труб  $d_{\text{итр}}$  гидроструйной насосной установки определяются по формуле (2.105) :

$$d_{\text{итр}} = \left( \frac{4Q_{\text{итр}}}{\pi \cdot v_{\text{итр}}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,001}{3,14 \cdot 3} \right)^{1/2} = 0,021 \text{ м (принимаем } d_{\text{итр}} = 35,3 \text{ мм, труба } 42,3 \times 3,2 \text{ мм);}$$

$$d_{\text{втр}} = \left( \frac{4Q_{\text{втр}}}{\pi \cdot v_{\text{втр}}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,00288}{3,14 \cdot 3} \right)^{1/2} = 0,035 \text{ м (принимаем } d_{\text{итр}} = 41 \text{ мм, труба } 48 \times 3,5 \text{ мм)}$$

где  $Q_{\text{итр}}$  - расход воды (водо-воздушной смеси) в трубах, м<sup>3</sup>/с;  
 $v_{\text{итр}}$  - допустимая скорость движения воды (водо-воздушной смеси) в трубах  $v_{\text{итр}} = 1,5-3,0$  м/с, м/с.

### Ж.3. Расчёт исходных, технологических и технических параметров на экспериментальный образец усовершенствованной гидроструйной насосной установки для подъема воды из скважин:

Подача проектная определяется по формуле (3.1), где основным критерием обоснования принят минимальный и максимальный суточный расход воды для условий обводнения пастбищ и сельскохозяйственного водоснабжения [10]:

$$Q_{\text{п}} = \frac{q_{\text{и с у т}}}{t_{\text{с м}} \cdot \eta_{\text{с м}}} = \frac{25 \dots 180}{8 \cdot 0,89 \cdot 1} = (3,51 \dots 25,28) \text{ м}^3/\text{ч} \quad (0,000975 \dots 0,0070) \text{ м}^3/\text{с},$$

где  $t_{\text{с м}}$  - рабочее время смены (принимается  $t_{\text{с м}} = 8$  ч), ч;

$q_{\text{и с у т}}$  - минимальное и максимальное суточное водопотребление на объекте ( $q_{\text{с у т. м и н}} = 25 \text{ м}^3$  и  $q_{\text{с у т. м а к}} = 180 \text{ м}^3$ ) [4,10], м<sup>3</sup>;

$\eta_{\text{с м}}$  - коэффициент использования рабочего времени смены для разрабатываемой насосной установки, определяется по формуле (3.3) [10]:

$$\eta_{\text{с м}} = \frac{t_{\text{ч п}}}{t_{\text{ч п}} + t_{\text{т о}}} = \frac{7,1}{7,1 + 0,9} = 0,89,$$

где  $t_{\text{ч п}}$  - чистое время работы насосной установки в смену ( $t_{\text{ч п}} = t_{\text{с м}} - t_{\text{т о}} = 8 - 0,9 = 7,1$  ч), ч;

$t_{\text{т о}}$  - время на техобслуживание насосной установки (по опытным данным  $t_{\text{т о}} = 0,9$  ч), ч.

Принимаем для дальнейших расчётов проектную подачу для экспериментального образца насосной установки  $Q_{\text{п}} = (3,6 \dots 25) \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $0,001 \dots 0,0069$ ) м<sup>3</sup>/с.

Высота водоподъема для гидроструйной насосной установки определяется по формуле (3.4):

$$H_{\text{гн}} = H_{\text{гн у}} = H_{\text{д}} + h_{\text{р}} = 28,5 + 1,5 = 30 \text{ м},$$

где  $H_{гн\у}$  - высота водоподъема водо-воздушной смеси гидроструйной насосной установки ( $H_{гн\у} = H_{д} + h_{р} = 20 + 1,5 = 21,5$  м), м;

$H_{д}$  – динамический уровень воды в водоисточнике (по данным [4,10] принимается  $H_{д} = 20$  м), м;

$h_{р}$  - высота от оголовка скважины до излива в (определяется конструктивно  $h_{р} = 1,5$  м), м.

Диаметральный габарит насосной части, опускаемой в скважину, определяется по формуле (3.6):

$$D_{нч} = D_{ск} - б = 150 - 6 = 144 \text{ мм},$$

где  $D_{ск}$  – внутренний диаметр рекомендуемой скважины, мм (принимается аналогично для шнурового водоподъемника  $D_{ск} = 150$  мм [4,10]);

$б$  - зазор на диаметр, удовлетворяющий требованиям техники безопасности проведения спуско-подъемных операций насосной части во внутрь скважины, мм (принимается  $б = 5-6$  мм) [4,10].

Диаметральный габарит насосной части гидроструйной насосной установки по конструктивным возможностям принимаем  $D_{нч} = 120$  мм.

Параметры поднимаемой воды принимаются аналогично для шнурового и ленточного водоподъемников [4, 10]: допустимая минерализация поднимаемой воды – до 5 г/дм<sup>3</sup>, допустимое содержание в воде твердых частиц (песка) – до 0,5 % по массе.

Температура окружающего воздуха для нормальной работы насосной установки принимается аналогично для эрлифтных насосных установок - до  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  [10].

Подача гидроструйной насосной установки  $Q_{i\ гн}$  (полезная) и общая  $Q_{i\ гн\у}$  от совместного использования струйных насосов с подсосом воды и атмосферного воздуха определяются по формулам (2.57) и (2.58):

$$Q_{i\ гн} = Q_{i\ н} \cdot \left( K_{i\ з} + \frac{Y - Y_{сн}}{Y_{сн}} \right) = (0,001 \dots 0,0069) \cdot (0,9 + \frac{9810 - 4950}{4950}) = (0,001 \dots 0,0069) \cdot (0,9 + 0,98) = (0,00188 \dots 0,010) \text{ м}^3/\text{с} \\ (6,77 \dots 36) \text{ м}^3/\text{ч}.$$

$$Q_{i\ гн\у} = Q_{i\ н} \cdot \left( 1 + K_{i\ з} + \frac{Y - Y_{сн}}{Y_{сн}} \right) = (0,001 \dots 0,0069) \cdot (1 + 0,9 + \frac{9810 - 4950}{4950}) = (0,001 \dots 0,0069) \cdot (1,9 + 0,98) = (0,00288 \dots 0,02) \text{ м}^3/\text{с} \\ (10,37 \dots 72) \text{ м}^3/\text{ч}.$$

где  $Q_{i\ н}$  – подача центробежного насоса экспериментального образца

гидроструйной насосной установки (принимается  $Q_{in} = Q_{out} = (0,001 \dots 0,0069 \text{ м}^3/\text{с} (3,6 \dots 25 \text{ м}^3/\text{ч}), \text{ м}^3/\text{с}.$

$\gamma, \gamma_{см}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах ( $\gamma = 9810 \text{ Н}/\text{м}^3, \gamma_{см} = 4900 - 5000 \text{ Н}/\text{м}^3$ , принимаем среднее значение  $\gamma_{см} = 4950 \text{ Н}/\text{м}^3$ ),  $\text{Н}/\text{м}^3$ ;

$K_{iэ}$  – коэффициент эжекции струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха (принят  $K_{iэ} = 0,9$ ).

Потребный напор экспериментального образца гидроструйной насосной установки при использовании струйного насоса с подсосом воды и атмосферного воздуха определяется по формуле (2.70):

$$H_{игну} = \frac{H_{ггн}}{\gamma} \cdot \gamma_{см} + \frac{v_3^2 - v_{ca}^2}{2g} + h_{сн} + h_{il} + h_{im} = \frac{21,5}{9810} \cdot 4950 + \frac{3^2 - 2,2^2}{2 \cdot 9,81} + 5 + 0,05 H_{ггн} = 10,8 + 0,2 + 5 + 0,05 \cdot H_{игну} = 11 + 0,05 H_{игну} = \frac{16}{0,95} = 16,8 \text{ м},$$

где  $H_{ггн}$  – высота водоподъёма гидроструйной насосной установки при подъёме воды в виде водо-воздушной смеси (определена выше  $H_{ггн} = 21,5 \text{ м}$ ),  $\text{м}$ ;

$\gamma, \gamma_{см}$  – удельный вес поднимаемой воды и создаваемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах (приняты выше  $\gamma = 9810 \text{ Н}/\text{м}^3$  и  $\gamma_{см} = 4950 \text{ Н}/\text{м}^3$ ),  $\text{Н}/\text{м}^3$ ;

$v_3$  – скорость воды в сечении 3-3 насосной части (на выходе из водоподъёмного трубопровода) гидроструйной насосной установки (принимается по опытным данным  $v_2 = 2,2 \text{ м}/\text{с}$ ),  $\text{м}/\text{с}$ ;

$v_{ca}$  – скорость воды в активном сопле струйного насоса (принимается максимально допустимая в водоподъёмном трубопроводе  $v_{1ca} = 3 \text{ м}/\text{с}$ ),  $\text{м}/\text{с}$ ;

$h_{сн}$  – свободный напор гидроструйной насосной установки (принимается  $h_{сн} = 5 \text{ м}$  для увеличения высоты водоподъёма при альтернативной технологии водоподъёма до 30 м);

$h_{il} + h_{im}$  – суммарные потери по длине водоподъёмного трубопровода и местные потери для упрощения расчёта принимаются равными 5% от потребного напора  $h_{2l} + h_{2м} = 0,05 H_{игну}$ ),  $\text{м}$ .

Потребный напор экспериментального образца гидроструйной насосной установки при высоте водоподъёма  $H_{ггн} = 30 \text{ м}$  составит  $H_{игну} = 15,94 \text{ м}$ .

Удельный вес  $\gamma_{см}$  поднимаемой водо-воздушной смеси в водоподъёмных трубах экспериментального образца гидроструйной насосной установки определяется по формуле (2.72):

$$\gamma_{см} = \frac{\gamma}{H_{ггн}} \cdot \left( H_{игну} + \frac{v_{ca}^2 - v_3^2}{2g} - h_{сн} - h_{il} - h_{im} \right) = \frac{9810}{21,5} \cdot \left( 16,8 + \frac{3^2 - 2,2^2}{2 \cdot 9,81} + 0,2 - 5 - 0,84 \right) = 456,3 \cdot (16,8 + 0,2 - 5 - 0,84) = 456,3 \cdot 11,16 = 5092 \text{ Н}/\text{м}^3,$$

где  $\gamma = 9810 \text{ Н}/\text{м}^3, H_{ггн} = 21,5 \text{ м}, H_{игну} = 16,8 \text{ м}, v_{ca2} = v_{ca1} = 3 \text{ м}/\text{с}, h_{2l} +$

$$h_m = 0,05 N_{гн\gamma} = 0,05 \cdot 16,8 = 0,84 \text{ м (определены и приняты выше).}$$

Полученное значение удельного веса  $\gamma_{1\text{см}} = 5092 \text{ Н/м}^3$  поднимаемой водовоздушной смеси в водоподъёмных трубах гидроструйной насосной установки соответствует ранее принятому в расчёте значению  $\gamma_{1\text{см}} = 4950 \text{ Н/м}^3$  (расхождение 2,87%), поэтому уточнение его значения не требуется.

Полезная  $N_{п}$  и затраченная  $N_{гн\gamma}$  мощности и КПД  $\eta_{гн\gamma}$  экспериментального образца гидроструйной насосной установки определяются по формулам (2.73), (2.74) и (2.75):

$$N_{п} = 9,81 \cdot Q_{гн} \cdot H_{гн} = 9,81 \cdot (0,00188 \dots 0,010) \cdot 21,5 = (0,396 \dots 2,11) \text{ кВт};$$

$$N_{гн\gamma} = \frac{N_{п}}{\eta_{гн\gamma}} = \frac{9,81 \cdot Q_{гн} \cdot H_{гн}}{\eta_{гн\gamma}} = \frac{9,81 \cdot (0,00188 \dots 0,010) \cdot 21,5}{0,835 \dots 0,639} = (0,484 \dots 3,30) \text{ кВт};$$

$$\eta_{гн\gamma} = \frac{N_{п}}{N_{гн\gamma}} = \frac{Q_{гн} \cdot H_{гн}}{Q_{гн\gamma} \cdot H_{гн\gamma}} = \frac{(0,00188 \dots 0,010) \cdot 21,5}{(0,00288 \dots 0,02) \cdot 16,8} = 0,835 \dots 0,639$$

где 9,81 переводной коэффициент размерности Вт в кВт;

$Q_{гн}$  - полезная подача экспериментального образца гидроструйной насосной установки (определена выше  $Q_{гн} = (0,00188 \dots 0,010) \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H_{гн}$  - высота водоподъёма гидроструйного насоса (определена выше по формуле (3.4)  $H_{1гн} = H_{гн} = 21,5 \text{ м}$ ), м;

$Q_{гн\gamma}$  - подача общая экспериментального образца гидроструйной насосной установки  $d$  (определена выше  $Q_{1гн\gamma} = (0,00288 \dots 0,020) \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Вакуумный напор  $H_{\text{вак1}}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{\text{вак2}}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха определяются по формулам (2.94) и (2.96):

а) для экспериментального образца насосной установки с подачей  $Q_{н} = 3,6 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ ):

$$H_{\text{вак1}} = \frac{v_{\text{ca1}}^2 - v_{\text{сп1}}^2}{2g} - H_{\text{в}} = \frac{6,1^2 - 1,48^2}{2 \cdot 9,81} - 0,4 = \frac{37,21 - 2,19}{19,62} - 0,4 = 1,78 - 0,4 = 1,38 \text{ м};$$

$$H_{\text{вак2}} = \frac{v_{\text{ca2}}^2 - v_{\text{сп2}}^2}{2g} = \frac{9,36^2 - 2,18^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{87,61 - 4,75}{19,62} = 4,22 \text{ м},$$

где  $v_{\text{ca1}}$ ,  $v_{\text{сп1}}$  - скорость движения воды в активном и пассивном соплах струйного насоса с подсосом воды определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел, м/с:

$$v_{\text{ca1}} = \frac{4Q_{гн\gamma1}}{\pi \cdot D_{\text{ca1}}^2} = \frac{4 \cdot 0,00188}{3,14 \cdot 0,0198^2} = 6,1 \text{ м/с};$$

$$v_{\text{сп1}} = \frac{4Q_{\text{гнy1}}}{\pi \cdot D_{\text{сп1}}^2} = \frac{4 \cdot 0,001}{3,14 \cdot 0,0293^2} = 1,48 \text{ м/с},$$

где  $Q_{\text{гнy1}}$  - полезная подача гидроструйной насосной установки:

для активного сопла определена выше  $Q_{\text{гнy1}} = 0,00188 \text{ м}^3/\text{с}$ , для пассивного сопла  $Q_{\text{гнy1}} = Q_{\text{н}} = 0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D_{\text{ca1}}$ ,  $D_{\text{сп1}}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйных насосов гидроструйной насосной установки (приняты первый по опытным данным  $D_{\text{ca1}} = 0,0198 \text{ м}$  и второй по расчётным данным в пересчёте щелевого проходного сечения в условный внутренний диаметр сопла  $D_{\text{сп1}} = 0,0293 \text{ м}$ ),  $\text{м}$ ;

$H_{\text{в}}$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды (принимается конструктивно  $H_{\text{в}} = 0,4 \text{ м}$ ),  $\text{м}$ ;

$v_{\text{сп2}}$ ,  $v_{\text{ca2}}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном и воды в активном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха, определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел,  $\text{м/с}$ :

$$v_{\text{ca2}} = \frac{4Q_{\text{гнy2}}}{\pi \cdot D_{\text{ca2}}^2} = \frac{4 \cdot 0,00288}{3,14 \cdot 0,0198^2} = 9,36 \text{ м/с};$$

$$v_{\text{сп2}} = \frac{4Q_{\text{гнy2}}}{\pi \cdot D_{\text{сп2}}^2} = \frac{4 \cdot 0,00288}{3,14 \cdot 0,041^2} = 2,18 \text{ м/с},$$

где  $Q_{\text{гнy2}}$  - общая подача гидроструйной насосной установки (определена выше  $Q_{\text{гнy2}} = 0,00288 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D_{\text{ca2}}$ ,  $D_{\text{сп2}}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйного насоса гидроструйной насосной установки для подсоса атмосферного воздуха (приняты первый по расчётным данным в пересчёте щелевого проходного сечения в условный внутренний  $D_{\text{ca2}} = 0,0198 \text{ м}$  и второй диаметр сопла по опытным данным  $D_{\text{сп2}} = 0,041 \text{ м}$ ),  $\text{м}$ ;

б) для экспериментального образца насосной установки с подачей  $Q_{\text{н}} = 25 \text{ м}^3/\text{ч}$  ( $0,0069 \text{ м}^3/\text{с}$ ):

Вакуумный напор  $H_{\text{вак1}}$  в струйном насосе с подсосом воды и вакуумный напор  $H_{\text{вак2}}$  в струйном насосе с подсосом атмосферного воздуха определяются по формулам (2.86) и (2.88):

$$H_{\text{вак1}} = \frac{v_{\text{ca1}}^2 - v_{\text{сп1}}^2}{2g} - H_{\text{в}} = \frac{10,37^2 - 7,17^2}{2 \cdot 9,81} - 0,4 = \frac{107,54 - 51,41}{19,62} - 0,4 = 2,86 - 0,4 = 2,46 \text{ м};$$

$$H_{\text{вак2}} = \frac{v_{\text{ca2}}^2 - v_{\text{сп2}}^2}{2g} = \frac{17,7^2 - 12,88^2}{2 \cdot 9,81} = \frac{313,29 - 165,89}{19,62} = 7,5 \text{ м},$$

где  $v_{\text{ca1}}$ ,  $v_{\text{сп1}}$  - скорость движения воды в активном и пассивном соплах

струйного насоса с подсосом воды определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел, м/с:

$$v_{1ca1} = \frac{4Q_{гнy1}}{\pi \cdot D_{ca1}^2} = \frac{4 \cdot 0,010}{3,14 \cdot 0,035^2} = 10,37 \text{ м/с};$$

$$v_{1cp1} = \frac{4Q_{гнy1}}{\pi \cdot D_{cp1}^2} = \frac{4 \cdot 0,0069}{3,14 \cdot 0,035^2} = 7,17 \text{ м/с},$$

где  $Q_{гнy1}$  - полезная подача гидроструйной насосной установки для активного сопла определена выше  $Q_{гнy1} = 0,010 \text{ м}^3/\text{с}$ , для пассивного сопла  $Q_{гнy1} = Q_H = 0,0069 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D_{ca1}$ ,  $D_{cp1}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйных насосов гидроструйной насосной установки (приняты первый по опытным данным  $D_{2ca1} = 0,035 \text{ м}$  и второй по расчётным данным в пересчёте щелевого проходного сечения в условный внутренний диаметр сопла  $D_{cp1} = 0,035 \text{ м}$ ), м;

$H_B$  - столб воды над патрубком пассивного сопла струйного насоса с подсосом воды (принимается конструктивно  $H_B = 0,4 \text{ м}$ ), м;

$v_{cp2}$ ,  $v_{ca2}$  - скорость движения атмосферного воздуха в пассивном и воды в активном соплах струйного насоса с подсосом атмосферного воздуха определяются по известным формулам (2.101) и (2.102) при предварительно принятым внутренним диаметрам сопел, м/с:

$$v_{ca2} = \frac{4Q_{гнy2}}{\pi \cdot D_{ca2}^2} = \frac{4 \cdot 0,017}{3,14 \cdot 0,035^2} = 17,7 \text{ м/с};$$

$$v_{cp2} = \frac{4Q_{гнy2}}{\pi \cdot D_{cp2}^2} = \frac{4 \cdot 0,017}{3,14 \cdot 0,041^2} = 12,88 \text{ м/с},$$

где  $Q_{гнy2}$  - общая подача гидроструйной насосной установки (определена выше  $Q_{гнy2} = 0,017 \text{ м}^3/\text{с}$ ),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D_{ca2}$ ,  $D_{cp2}$  - внутренние диаметры активных и пассивных сопел струйного насоса гидроструйной насосной установки для подсоса атмосферного воздуха (приняты первый по расчётным данным в пересчёте щелевого проходного сечения в условный внутренний  $D_{ca2} = 0,035 \text{ м}$  и второй диаметр сопла по опытным данным  $D_{cp2} = 0,041 \text{ м}$ ), м.

Внутренние диаметры нагнетаемых и водоподъёмных труб  $d_{итр}$  гидроструйной насосной установки определяются по формуле (2.105) :

$$d_{итр} = \left( \frac{4Q_{итр}}{\pi \cdot v_{итр}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,0069}{3,14 \cdot 3} \right)^{1/2} = 0,054 \text{ м} \text{ (принимаем } d_{итр} = 53 \text{ мм, труба } 60 \times 3,5 \text{ мм)};$$

$$d_{итр} = \left( \frac{4Q_{итр}}{\pi \cdot v_{итр}} \right)^{1/2} = \left( \frac{4 \cdot 0,02}{3,14 \cdot 3} \right)^{1/2} = 0,092 \text{ м} \text{ (принимаем } d_{итр} = 79,5 \text{ мм, труба } 88,5 \times 4 \text{ мм)},$$

где  $Q_{\text{тр}}$  - расход воды (водо-воздушной смеси) в трубах,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  
 $v_{\text{тр}}$  – допустимая скорость движения воды (водо-воздушной смеси) в трубах  $v_{\text{тр}} = 1,5-3,0 \text{ м/с}$  ,  $\text{м/с}$

### **Выбор центробежного насоса для экспериментального образца гидроструйной насосной установки**

Центробежный насос для экспериментального образца гидроструйной насосной установки выбирается по следующим параметрам: подаче  $Q_{\text{н}}$ , напору  $H_{\text{р}}$  и потребляемой мощности  $N_{\text{н}}$ . По выполненному расчёту получены следующие основные расчётные параметры экспериментального образца гидроструйной насосной установки, работающего по альтернативной технологии водоподъёма : подача проектная  $Q_{\text{п}} = (0,001 \dots 0,0069) \text{ м}^3/\text{с}$  ( $3,6 \dots 25$ )  $\text{м}^3/\text{ч}$ , подача полезная  $Q_{\text{гн}} = (0,00188 \dots 0,010) \text{ м}^3/\text{с}$  ( $6,77 \dots 36$ )  $\text{м}^3/\text{ч}$ , напор  $H_{\text{гн}} = 16,8 \text{ м}$ , мощность потребляемая максимальная  $N_{\text{гн}} = 3,3 \text{ кВт}$ , на основании которых для центробежного насоса принимаем: подачу  $Q_{\text{н}} = Q_{\text{п}} = 3,6 \dots 25 \text{ м}^3/\text{ч}$ , мощность потребляемую  $N_{\text{н}} = N_{\text{гн}} = 3,3 \text{ кВт}$  и напор  $H_{\text{р}} = H_{\text{гн}} \cdot \frac{\gamma}{\gamma_{\text{см}}} = 16,8 \cdot \frac{9810}{5284} = 31,2 \text{ м}$ .

По принятым параметрам наиболее близким центробежным насосом является СР 220 В с основными параметрами: подача  $Q_{\text{н}} = 3 \dots 27 \text{ м}^3/\text{ч}$ , напор  $H_{\text{р}} = 37,5 \dots 25 \text{ м}$  , потребляемая мощность  $N_{\text{н}} = 1,7 \dots 3,2 \text{ кВт}$  и КПД  $\eta = 0,18 \dots 0,57$ .

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Расчёт основных показателей базовой и разработанной усовершенствованной гидроструйной насосной установки

Основные показатели определялись по расчётным формулам:

Годовая расчётная выработка базовой  $\Pi_б$  и новой  $\Pi_н$  насосных установок

$$\Pi_б = q_{сутб} \cdot T_д = 25 \cdot 265 = 6625 \text{ м}^3 \quad (3.1)$$

$$\Pi_н = q_{сутн} \cdot T_д = 180 \cdot 265 = 47700 \text{ м}^3, \quad (3.2)$$

где  $q_{сут} = 25 \text{ м}^3$  и  $180 \text{ м}^3$  – расчётное суточное водопотребление для условий пастбищного водоснабжения и сельскохозяйственного водоснабжения с учётом полива приусадебных земельных участков;

$T_д = 265$  дней - годовой период сельскохозяйственного и пастбищного водоснабжения.

Годовая выработка фактическая для сравниваемых насосных установок:

- для базовой насосной установки:

$$\Pi_б = Q_б \cdot t_{см} \cdot \eta_{см} \cdot T_д = 9,8 \cdot 8 \cdot 0,89 \cdot 265 = 18474 \text{ м}^3 \quad (3.3)$$

- для новой насосной установки:

$$\Pi_н = Q_н \cdot t_{см} \cdot \eta_{см} \cdot T_д = 25 \cdot 8 \cdot 0,89 \cdot 265 = 47170 \text{ м}^3 \quad (3.4)$$

где  $Q_б$ ,  $Q_н$  – фактическая подача базовой и новой насосных установок,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$t_{см} = 8$  ч – сменное рабочее время в период водоснабжения;

$\eta_{см}$  – коэффициент использования рабочего времени смены:

$$\eta_{см} = \frac{T_ч}{T_ч + T_{то}} = \frac{7,1}{7,1 + 0,9} = 0,89 \quad (3.5)$$

где  $T_ч$  – чистое время работы насосной установки за смену:

$$T_ч = t_{см} - T_{то} = 8 - 0,9 = 7,1 \text{ ч} \quad (3.6)$$

$T_{то} = 0,9$  ч - время на техобслуживание насосной установки (по

хронометражным данным).

Нормативная годовая загрузка

$$T_{\bar{b}} = T_H = t_{cm} \cdot T_D = 8 \cdot 265 = 2120 \text{ ч} \quad (3.7)$$

Фактическая годовая загрузка

$$T_{\phi \bar{b}} = \frac{P_{\bar{b}}}{Q_{\bar{b}} \cdot \eta_{cm}} = \frac{18474}{9,8 \cdot 0,89} = 2120 \text{ ч}, \quad (3.8)$$

$$T_{\phi H} = \frac{P_H}{Q_H \cdot \eta_{cm}} = \frac{47170}{25 \cdot 0,89} = 2120 \text{ ч}, \quad (3.9)$$

Балансовая цена насосной установки

$$C_{B\bar{b}} = C_{O\bar{b}} \cdot K = 294840 \cdot 1,2 = 353808 \text{ тенге} \quad (3.10)$$

$$C_{BH} = C_{OH} \cdot K = 316440 \cdot 1,2 = 379728 \text{ тенге} \quad (3.11)$$

где  $C_O$  – рыночная цена гидроструйной насосной установки, тенге:

$$C_{O\bar{b}} = C_y \cdot m_{\bar{b}} = 1080 \cdot 273 = 294840 \text{ тенге} \quad (3.12)$$

$$C_{OH} = C_y \cdot m_H = 1080 \cdot 293 = 316440 \text{ тенге}, \quad (3.13)$$

где  $C_y$  – удельная стоимость изготовления ( по данным завода-изготовителя ТОО «VТASBULAK»  $C_y = 1080$  тенге/кг):

$m_{\bar{b}}$  ,  $m_H$  – масса изготавливаемого оборудования для базовой и новой насосных установок ( $m_{\bar{b}} = 273$  кг,  $m_H = 293$ кг), кг

$K = 1,2$  коэффициент перевода оптовой цены в балансовую с учетом расходов на транспортирование и монтаж насосной установки.

Отчисление на реновацию

$$C_{A\bar{b}} = \frac{C_{B\bar{b}} \cdot A}{P_{\bar{b}}} = \frac{353808 \cdot 0,166}{18474} = 4,32 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.14)$$

$$C_{AH} = \frac{C_{BH} \cdot A}{P_H} = \frac{379728 \cdot 0,166}{47170} = 1,34 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.15)$$

Отчисление на ремонт и техобслуживание

$$C_{P\bar{6}} = \frac{Ц_{B\bar{6}} \cdot R \cdot \frac{T_{\phi\bar{6}}}{T_H}}{П\bar{6}} = \frac{353808 \cdot 0,07 \cdot \frac{2120}{2120}}{18474} = 1,34 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.16)$$

$$C_{P_H} = \frac{Ц_{B_H} \cdot R \cdot \frac{T_{\phi_H}}{T_H}}{П_H} = \frac{379728 \cdot 0,07 \cdot \frac{2120}{2120}}{47170} = 0,56 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.17)$$

Отчисление на зарплату

$$C_{3\bar{6}} = \frac{3 \cdot T_{\phi\bar{6}} \cdot Л}{П\bar{6}} = \frac{145,8 \cdot 2120 \cdot 1}{18474} = 16,76 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.18)$$

$$C_{3_H} = \frac{3 \cdot T_{\phi_H} \cdot Л}{П_H} = \frac{145,8 \cdot 2120 \cdot 1}{47170} = 6,55 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.19)$$

где  $3$  – часовая заработная плата обслуживающего персонала:

$$3 = \frac{3_{\min}}{T_M} = \frac{35000}{240} = 145,8 \text{ тенге/м}^3 \quad (3.20)$$

где  $3_{\min} = 19966$  тенге – минимальная установленная заработная плата Законом РК («О республиканском бюджете на 2014-2016 годы»).

Фактическая минимальная заработная плата с учётом доплаты в конкретных хозяйствах АПК РК принимается 35000 тенге. Для расчёта принимаем  $3_{\min} = 35000$  тенге ;

$T_M = 240$  ч - нормативная месячная загрузка.

Затраты на электроэнергию

$$C_{3\bar{6}} = \frac{Ц_{3\bar{6}} \cdot N_{3\bar{6}} \cdot T_{\phi\bar{6}}}{П\bar{6}} = \frac{16,53 \cdot 3,6 \cdot 2120}{18474} = 6,83 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.21)$$

$$C_{3_H} = \frac{Ц_{3_H} \cdot N_{3_H} \cdot T_{\phi_H}}{П_H} = \frac{16,53 \cdot 2,65 \cdot 2120}{47170} = 1,97 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.22)$$

где  $Ц_{3\bar{6}}$  – стоимость 1 кВт.ч электроэнергии, тенге ( $Ц_{3\bar{6}} = 16,53$  тенге);

$N_{\text{ЭБ}} = 3,6$  кВт – потребляемая мощность базовой насосной установки;

$N_{\text{ЭН}} = 2,65$  кВт – потребляемая мощность новой насосной установки.

Удельные эксплуатационные затраты

$$Z_{\text{вб}} = C_{\text{зб}} + C_{\text{об}} + C_{\text{аб}} + C_{\text{рб}} = 16,76 + 6,83 + 4,32 + 1,34 = 29,25 \text{ тенге/м}^3, \quad (3.23)$$

$$Z_{\text{н}} = C_{\text{зн}} + C_{\text{обн}} + C_{\text{ан}} + C_{\text{рн}} = 6,55 + 1,97 + 1,34 + 0,56 = 10,42 \text{ тенге/м}^3. \quad (3.24)$$