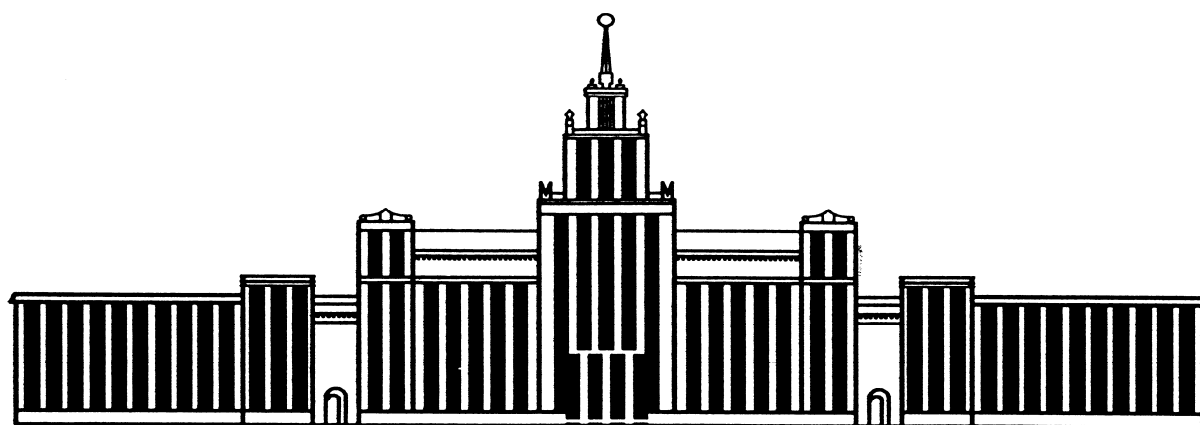

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

621.65/.69(07)

C722

Е.К. Спиридонов, А.Р. Исмагилов

СТРУЙНЫЕ НАСОСЫ

Учебное пособие по выполнению лабораторных работ

Челябинск

2013

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Кафедра «Гидравлика и гидропневмосистемы»

621.65/.69(07)
С722

Е.К. Спиридонов, А.Р. Исмагилов

СТРУЙНЫЕ НАСОСЫ

Учебное пособие по выполнению лабораторных работ

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2013

УДК 621.69(076.5)
С722

*Одобрено
учебно-методической комиссией аэрокосмического факультета*

*Рецензенты:
А.С. Носков, В.А. Целищев*

Спиридонов, Е.К.

С722 Струйные насосы: учебное пособие по выполнению лабораторных работ / Е.К. Спиридонов, А.Р. Исмагилов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 30 с.

Учебное пособие предназначено для студентов направления подготовки 151000 «Технологические машины и оборудование», изучающих дисциплины «Лопастные машины и гидродинамические передачи», «Жидкостные насосы трения», «Расчет и проектирование струйных аппаратов», «Компрессоры и пневмодвигатели».

В пособии приведено описание исследовательского комплекса для испытания гидроструйных насосов и выявления их энергетических характеристик, рассмотрены вопросы измерения основных гидродинамических параметров потоков в эжекторах, методика выполнения лабораторных работ по снятию характеристик струйных насосов с эжектируемой жидкостной, газовой и жидкостно-газовой средой.

УДК 621.69(076.5)

© Издательский центр ЮУрГУ, 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО СТРУЙНЫМ НАСОСАМ..... | 4 |
| 2. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА..... | 6 |
| 3. МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА КОМПЛЕКСЕ..... | 13 |
| 4. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ | |
| 4.1. Исследование характеристик жидкостного эжектора..... | 14 |
| 4.2. Исследование характеристик жидкостно-газового эжектора..... | 17 |
| 4.3. Исследование характеристик струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой..... | 20 |
| 4.4. Исследование характеристик двухступенчатого эжектора..... | 24 |
| БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК..... | 27 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ | |
| Приложение 1. Геометрические параметры и места установки датчиков давления в эжекторах..... | 28 |
| Приложение 2. Геометрические параметры сменных элементов..... | 29 |
| Приложение 3. Схема изменения конструкции исследовательского комплекса | 30 |

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО СТРУЙНЫМ НАСОСАМ

В струйном насосе (эжекторе) передача энергии осуществляется путем перемешивания двух потоков, поступающих в рабочую камеру с разными скоростями.

На рис. 1.1 показано изменение полного напора и его составных частей (гидростатического и скоростного) у активного и пассивного потоков в жидкостном эжекторе.

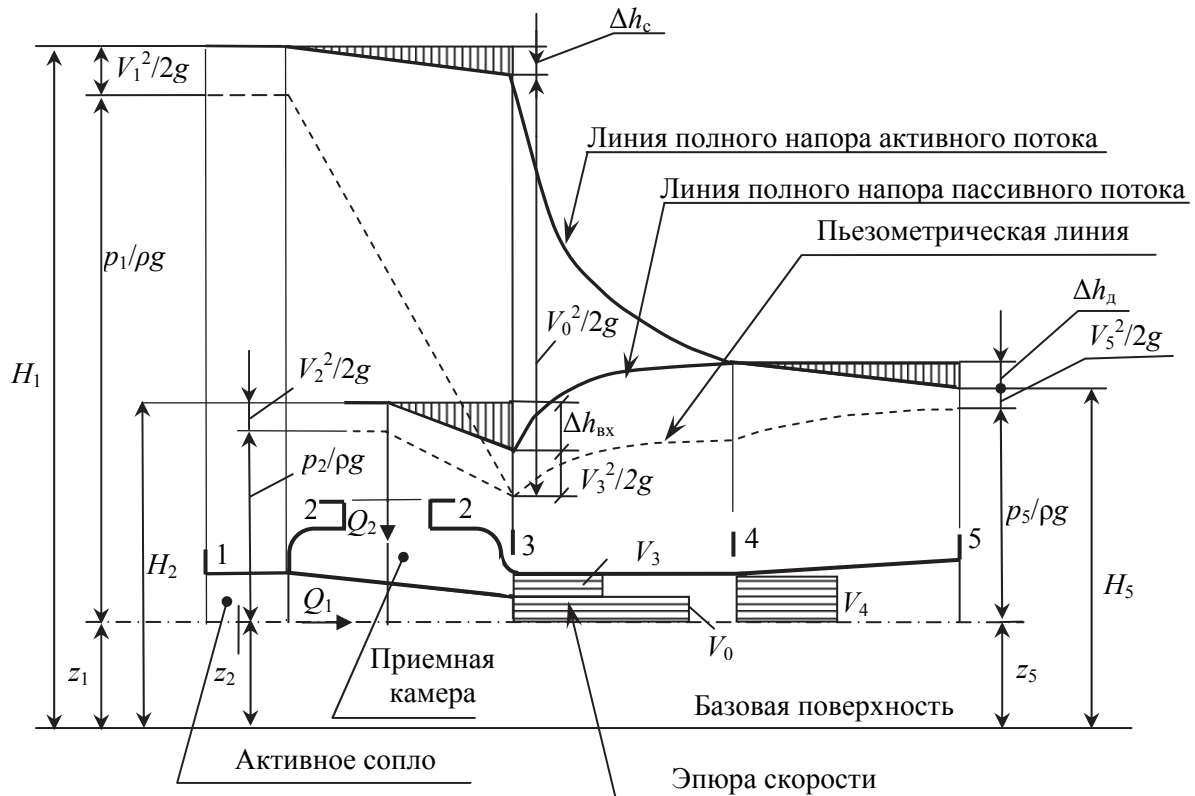


Рис. 1.1. Энергетическая диаграмма

В рабочей камере активный поток передает часть своей энергии пассивному потоку, а часть теряет на сопротивление, поэтому напорная линия у активного потока снижается. Наоборот, у пассивного потока напор растет. Статические напоры обоих потоков почти одинаковы, поэтому их пьезометрические линии сливаются. До встречи в сечении 3-3 (см. рис. 1.1) активный поток теряет часть своей энергии на сопловом устройстве:

$$\Delta h_c = \xi_c \cdot \frac{V_0^2}{2g}, \quad (1.1)$$

а пассивный поток – при входе в рабочую камеру эжектора:

$$\Delta h_{BX} = \xi_{BX} \cdot \frac{V_3^2}{2g}. \quad (1.2)$$

После смешивания потоков часть их общей энергии теряется в диффузоре:

$$\Delta h_d = \xi_{5d} \cdot \frac{V_4^2}{2g} \quad (1.3)$$

Основными режимными параметрами жидкостного эжектора являются коэффициент эжекции, напор и КПД.

Коэффициентом эжекции α называется отношение объемных расходов пассивного Q_2 и активного Q_1 потоков, т.е.

$$\alpha = Q_2 / Q_1 \quad (1.4)$$

Напор эжектора – это удельная энергия, полученная пассивным потоком, т.е.

$$\Delta H_{52} = H_5 - H_2, \quad (1.5)$$

где $H_i = z_i + \frac{p_i}{\rho g} + \frac{V_i^2}{2g}$, Дж/н – полный напор в соответствующем сечении (i – номер сечения (см. рис. 1.1)).

Относительный напор эжектора h выражает отношение абсолютного напора H_{52} к избыточному напору активного потока $\Delta H_{12} = H_1 - H_2$

$$h = \Delta H_{52} / \Delta H_{12}. \quad (1.6)$$

Показателем эффективности работы эжектора является КПД – отношение полезной мощности ко всей затраченной. При работе эжектора на однородных жидкостях избыточная мощность активного потока во входном сечении

$$N_1 = \rho g Q_1 \cdot \Delta H_{12}. \quad (1.7)$$

Часть этой мощности сохраняется у активного потока в выходном сечении эжектора:

$$N_{ост} = \rho g Q_1 \cdot \Delta H_{52}, \quad (1.8)$$

а часть передается пассивному потоку:

$$N_{п} = \rho g Q_2 \cdot \Delta H_{52}. \quad (1.9)$$

Если в системе, содержащей эжектор, полезно используется не только энергия пассивного потока, но и остаточная энергия активного потока, то КПД эжектора

$$\eta_{max} = (N_{п} + N_{ост}) / N_1 = (\alpha + 1) \cdot h. \quad (1.10)$$

Эжектор имеет минимальный КПД при работе в системах, где полезно используется только мощность пассивного потока:

$$\eta_{min} = N_{п} / N_1 = \alpha \cdot h. \quad (1.11)$$

Таким образом, в зависимости от степени полезного использования остаточной энергии активного потока КПД эжектора может иметь значения

$$\eta_{\min} \leq \eta \leq \eta_{\max} \quad (1.12)$$

Работу эжектора на переменных режимах отражают безразмерные характеристики, выражающие зависимость относительного напора и КПД от коэффициента эжекции $h(\alpha)$, $\eta_{\max}(\alpha)$, $\eta_{\min}(\alpha)$.

Аналитическое выражение напорной характеристики жидкостного эжектора

$$h = \frac{1 - \left(1 - \Omega + \frac{\Omega^2}{1 - \Omega} \cdot \alpha\right)^2 - \xi_{\text{вх}} \cdot \left(\frac{\Omega \cdot \alpha}{1 - \Omega}\right)^2 - (\xi_{\text{т}} - \xi_{\text{д}}) \cdot \Omega^2 \cdot (1 + \alpha)^2}{1 + \xi_{\text{с}} - j \cdot (1 + \xi_{\text{вх}}) \cdot \left(\frac{\Omega \cdot \alpha}{1 - \Omega}\right)^2} \quad (1.13)$$

Здесь $\Omega = A_0/A_3$ – относительная площадь сопла; $A_0 = \pi \cdot d_0^2/4$ – площадь выходного сечения сопла; $A_3 = \pi \cdot d_3^2/4$ – площадь сечения на входе рабочей камеры.

Для цилиндрической рабочей камеры $A_3 = A_4$; j – коэффициент, учитывающий положение сопла: если срез сопла в сечении 3-3 (см. рис. 1.1), то $j = 1$, а если сопло выдвинуто из входного конфузора рабочей камеры, то $j = 0$; $\xi_{\text{с}}$, $\xi_{\text{вх}}$, $\xi_{\text{т}}$, $\xi_{\text{д}}$ – коэффициенты сопротивления соответственно сопла, входного конфузора смесительной камеры, трения в смесительной камере и диффузора, которые зависят от конфигурации (пограничной геометрии) элементов проточной части и чисел Рейнольдса потоков жидкости в них. В области автомодельности по числу Рейнольдса для гидравлически совершенной проточной части на основе многочисленных опытов коэффициенты сопротивления могут быть приняты $\xi_{\text{с}} \approx \xi_{\text{вх}} \approx 0,6$; $\xi_{\text{т}} \approx 0,06$; $\xi_{\text{д}} \approx 0,12 \dots 0,15$.

2. ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА

Исследовательский комплекс «Струйные насосы», позволяет испытывать струйные насосы (эжекторы) с разными активными и пассивными средами (газ, жидкость, газожидкостная смесь), а также совместную работу эжекторов с целью выявления их энергетических характеристик.

Принципиальная схема установки изображена на рис. 2.1. Центробежные насосы $H1$, $H2$ предназначены для подачи воды из бака $B1$ в струйные насосы $Эж1$, $Эж2$ для создания активного потока. Насосы $H1$, $H2$ соединены с баком $B1$ через шаровые краны $KP1$, $KP2$ и всасывающие трубопроводы. Для последовательного и параллельного включения насосов $H1$, $H2$ служат шаровые краны $KP1$, $KP2$, $KP3$. Для регулировки производительности насосов установлены клиновые задвижки $З1$, $З2$. Для определения расходов воды перед эжекторами $Эж1$ и $Эж2$ применяются расходомеры $PM1$ и $PM2$.

Исследовательский комплекс со струйными насосами снабжен сменными элементами, такими как расходомерная шайба, сопловой диск и сопло второй

ступени, геометрические параметры которых даны в приложении 2. Эжекторы могут работать как независимо друг от друга, так и последовательно путем замены соответствующих участков рабочей камеры (рис. 2.2 и приложение 3). Рабочие камеры струйных насосов выполнены из оргстекла для визуализации рабочего процесса.

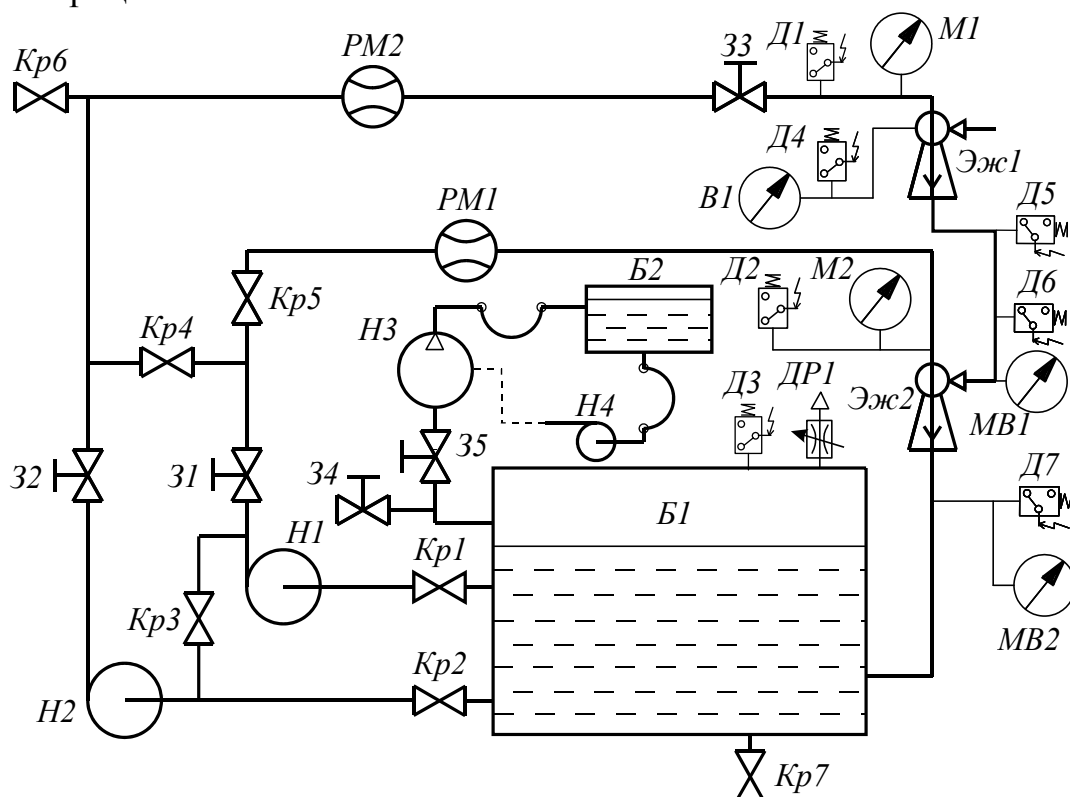


Рис. 2.1. Принципиальная схема исследовательского комплекса со струйными насосами

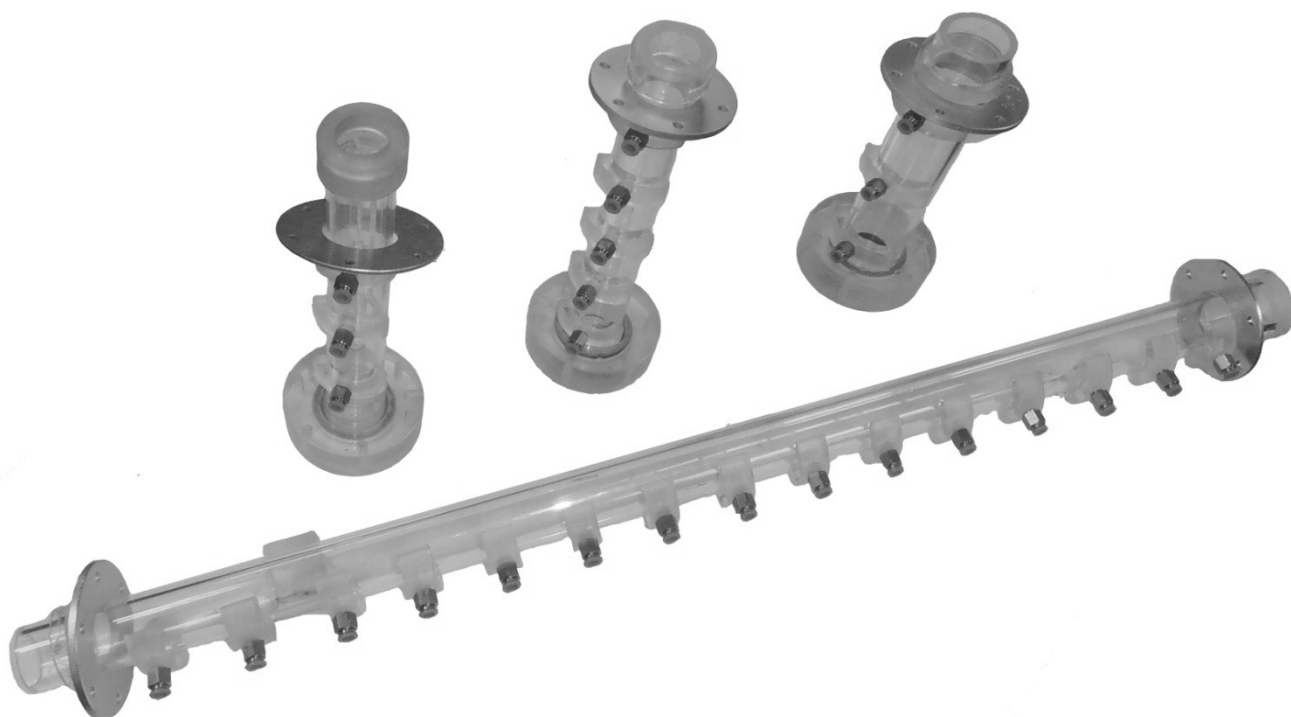


Рис. 2.2. Сменные элементы рабочей камеры

С помощью крана *КР6* и штуцера *Festo* имеется возможность подачи газа к эжекторам *Эж1* и *Эж2*, соответственно.

Противодавления на выходах струйных насосов определяются мановакуумметрами *МВ1*, *МВ2* и датчиками давления *Д5*, *Д7* (рис. 2.3), и могут регулироваться дросселем *ДР1* или задвижками *З4*, *З5* при включенном или отключенном водокольцевом вакуумном насосе *Н3*. Минимальное давление в баке *Б1*, равное $p_{\min}^{\text{абс}} = 0,4 \cdot 10^5$ Па, достигается при вакуумировании пространства бака *Б1* вакуумным водокольцевым насосом *Н3*.



Рис. 2.3. Датчик давления

В баке *Б1* происходит деаэрация водовоздушной смеси, образующейся в эжекторной установке, за счет течения смеси со свободной поверхностью через поперечные перегородки, увеличивающие протяженность течения, а также выполняющие дополнительную функцию ребер жесткости (рис. 2.4).

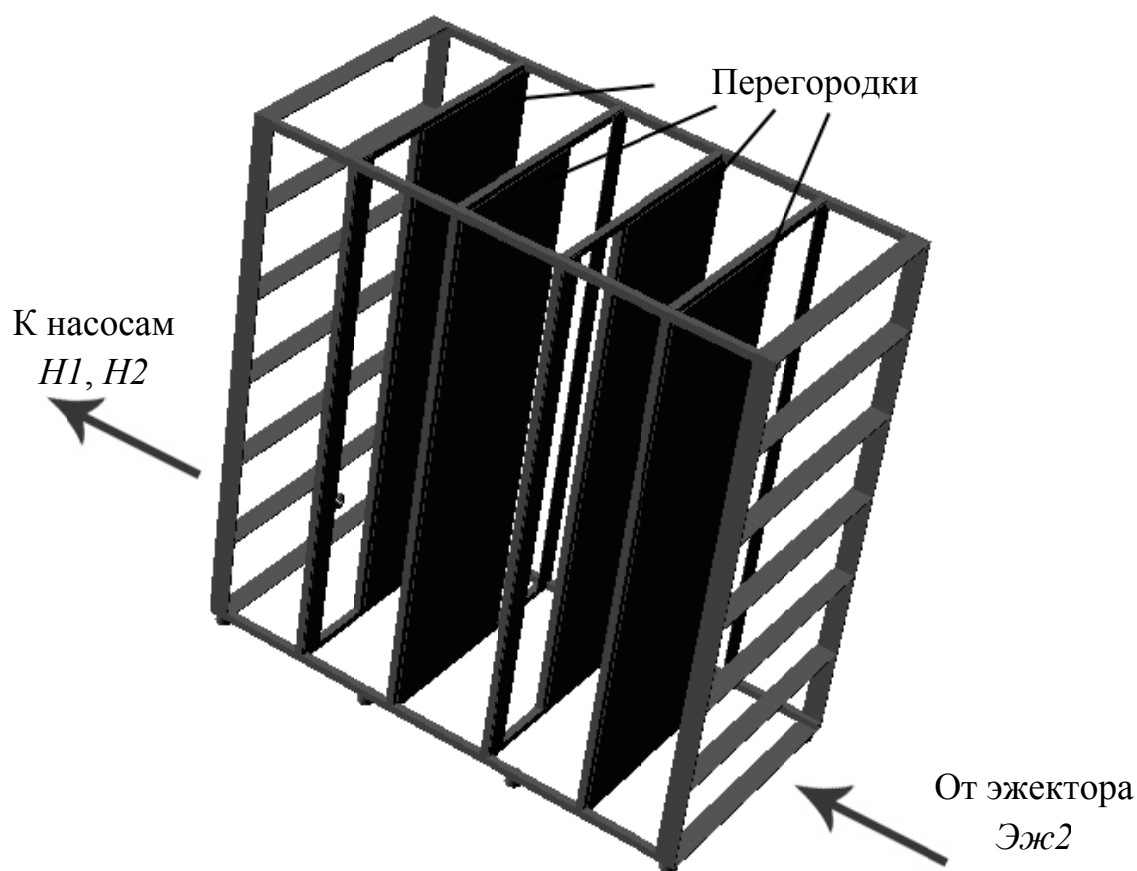


Рис. 2.4. Расположение перегородок внутри бака *Б1*

Для поддержания постоянного объема водяного кольца в насосе *НЗ* и отвода тепла, выделяемого трущимися деталями и сжимаемым газом, через насос *НЗ* непрерывно циркулирует вода, перекачиваемая насосом *Н4*. Вода для этих целей забирается из специального бака *Б2* системы охлаждения.

Схематичный вид переключателя насоса *Н4* марки *WCP 25* представлен на рис. 2.5. Переключатель имеет три положения, соответствующие трем уровням подачи. Положение переключателя, отмеченное одной рискуй (крайнее левое), соответствует минимальному уровню производительности насоса. Соответственно положение переключателя, отмеченное тремя рисками (крайнее правое), соответствует максимальному уровню производительности.



Рис. 2.5. Схематичный вид переключателя насоса *WCP 25*

Для определения расходов воды перед ступенями *Эж1* и *Эж2* применяются расходомеры *Метран-300ПР*. Принцип действия расходомеров основан на явлении Ван Кармана: при обтекании неподвижного твердого тела потоком жидкости за телом образуется вихревая дорожка, состоящая из вихрей, поочередно срывающихся с противоположных сторон тела. На рис. 2.6 показано обтекание цилиндра потоком и образование вихрей.

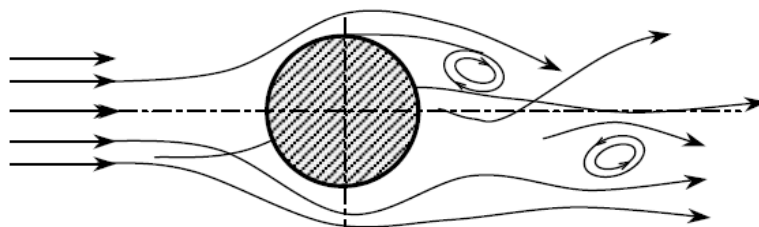


Рис. 2.6. Обтекание цилиндра потоком

Частота образования вихрей за телом пропорциональна скорости потока. Детектирование вихрей и определение частоты их образования позволяет определить скорость и объемный расход среды. В преобразователе *Метран-300ПР* в качестве тела обтекания применяется призма трапецеидального сечения, а детектирование вихрей производится с помощью ультразвукового луча.

Давления перед эжекторами *Эж1* и *Эж2* измеряются с помощью манометров *М1* и *М3*, а также с помощью датчиков давления *Д1* и *Д2*, давление в баке – датчиком давления *Д3*, давление в приемной камере вакуумметром *В1* и датчиком давления *Д4*, давления на выходе из эжекторов *Эж1* и *Эж2* определяются, соответственно, мановакуумметрами *МВ1* и *МВ2*, давления вдоль проточных частей каждого эжектора – датчиками давления *Д5...Д7*. Результаты замеров датчиками давления отображаются на ноутбуке.

Исследовательский стенд выполнен в виде стальной рамной конструкции 1, на которой размещены элементы гидравлической станции (рис. 2.7). В состав гидравлической станции входит:

- сливной бак-воздухоотделитель объемом 500 л – поз. 2
- питательный бак объемом 50 л – поз. 3;
- струйные насосы (эжекторы) – поз. 4;
- блок включения насосов *H1*, *H2*, *H3*, *H4* и расходомеров *PM1* и *PM2* – поз. 5 (рис. 2.8);
- гидравлическая система, обеспечивающая перекачивание жидкости из сливного бака-воздухоотделителя 2 к эжекторам 4, включающая в себя следующие элементы:
 - центробежный насос питания, производительностью 210 л/мин при напоре 46,2 м – поз. 6 (*H1* на рис. 2);
 - центробежный насос питания, производительностью 80 л/мин при напоре 23,9 м – поз. 7 (*H2* на рис. 2);
 - вакуумный водокольцевой насос с производительностью 13 л/мин при абсолютном давлении 0,04 МПа – поз. 8;
 - центробежный насос, производительностью до 37 л/мин при напоре до 4,5 м (расположен за баком 2);
 - дроссельно-регулирующая аппаратура:
 - шаровые краны – поз. 9 ... 15;
 - клиновые задвижки – поз. 16...19;
 - игольчатый дроссель (на верхней крышке бака 2);
 - измерительная система, включающая следующие измерительные приборы:
 - расходомер, предел измерения 3...150 л/мин – поз. 20;
 - расходомер, предел измерения 7...830 л/мин – поз. 21;
 - датчики давления, предел измерения 25...250 кПа – вдоль рабочей камеры, поз. 22 ... 24;
 - датчики давления, предел измерения 0...700 кПа – по одному перед каждой ступенью эжектора 4, поз. 25, 26;
 - датчик давления, предел измерения 20...250 кПа – на приемной камере первой ступени эжектора, поз. 27;
 - датчик давления, предел измерения 20...250 кПа – на сливном баке-воздухоотделителе, поз. 28;
 - манометры, кл. т. 0,4 %, диапазон измерения абсолютного давления 0...1 МПа – поз. 29, 30;
 - мановакууметры, кл. т. 0,6 %, диапазон измерения избыточного давления давления –100...150 кПа – поз. 31, 32;
 - вакууметр, кл. т. 0,4 %, диапазон измерения вакуумного давления –100... 0 кПа – поз. 33;
 - барометр, диапазон измерения атмосферного давления 610...790 мм рт.ст. (на рисунке не указан);

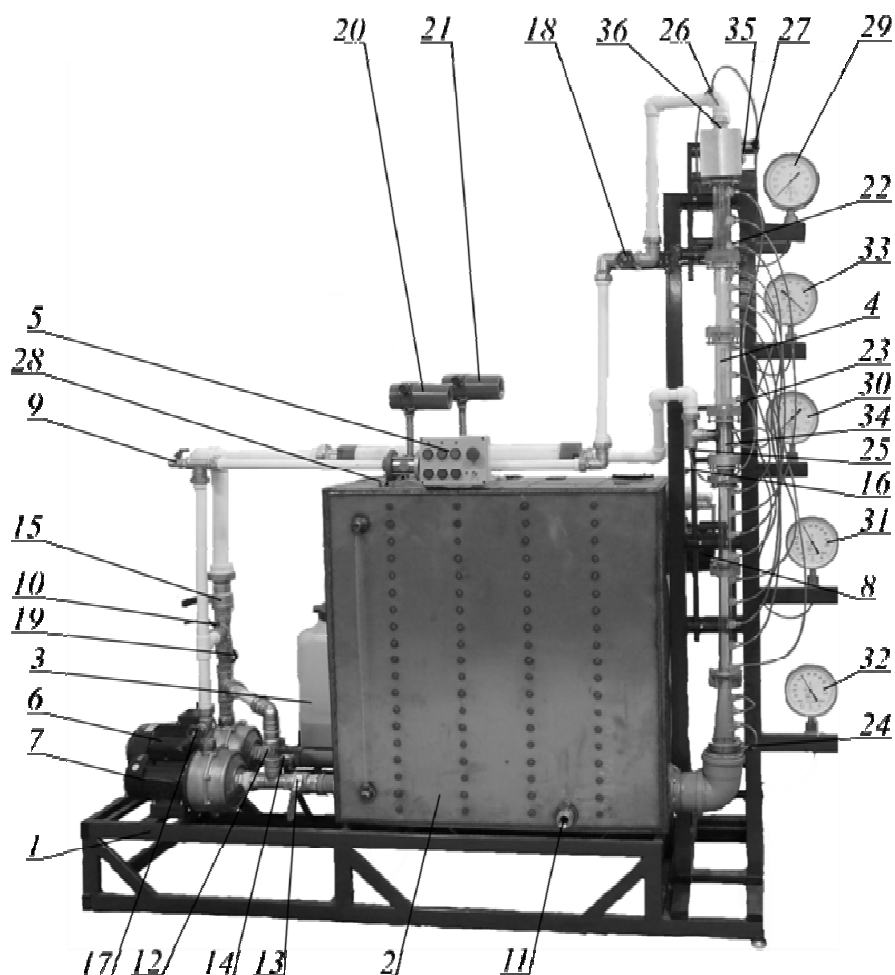


Рис. 2.7. Исследовательский комплекс со струйными насосами

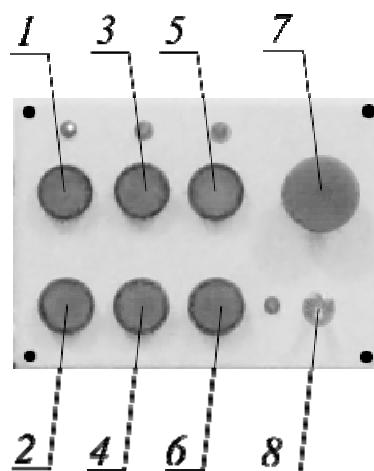


Рис. 2.8. Блок управления: 1 – включение насоса $H1$; 2 – выключение насоса $H1$; 3 – включение насоса $H2$; 4 – выключение насоса $H2$; 5 – включение вакуумного насоса $H3$; 6 – выключение вакуумного насоса $H3$; 7 – кнопка аварийного останова насосов; 8 – тумблер питания и включения циркуляционного насоса $H4$

– сопла эжектора $Эж2$ – 5 шт. (1 шт. в рабочей камере эжектора, 4 шт. в сменном комплекте, размеры указаны в приложении 2) – поз. 34 (рис. 2.9);

– расходомерные шайбы – 6 шт. (1 шт. в приемной камере, 5 шт. в сменном комплекте, размеры указаны в приложении 2) – поз. 35 (рис. 2.10);

– сопловые диски эжектора Эж1– 6 шт. (1 шт. в приемной камере, 5 шт. в сменном комплекте, размеры указаны в приложении 2) – поз. 36 (рис. 2.11).



Рис. 2.9. Сопла второй ступени



Рис. 2.10. Расходомерные шайбы

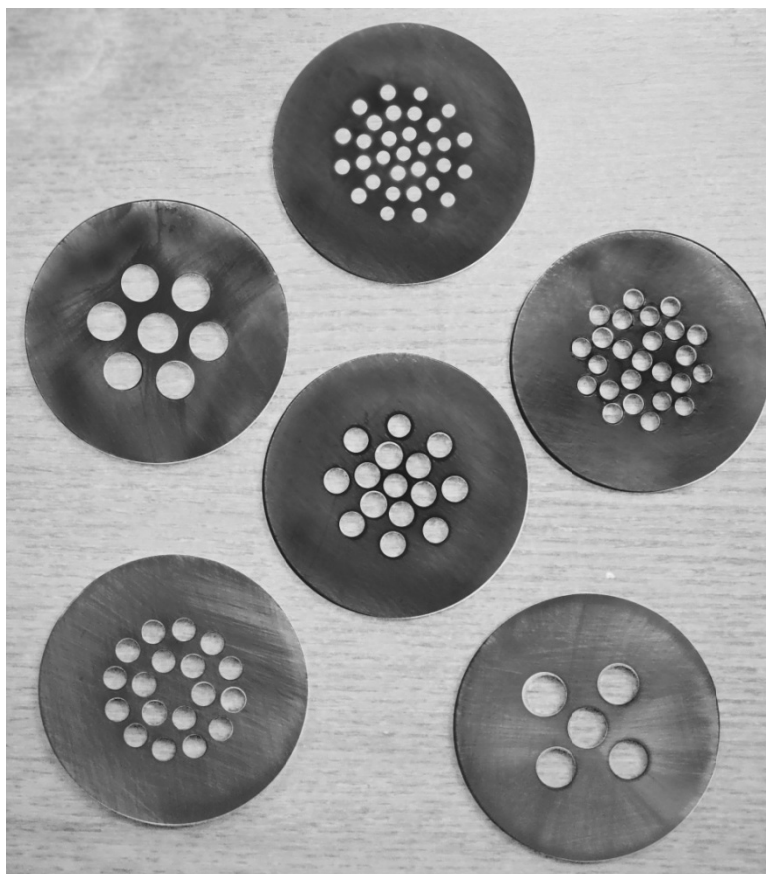


Рис. 2.11. Сопловые диски

Таким образом, данный исследовательский комплекс позволяет проводить обширные экспериментальные исследования рабочих процессов водоструйных, водовоздушных, а также газоструйных насосов как отдельно друг от друга, так и при их совместной работе.

3. МЕРЫ ПРЕДОСТОРОЖНОСТИ ПРИ РАБОТЕ НА КОМПЛЕКСЕ

К работе со стендом допускается персонал после ознакомления с данными указаниями по проведению лабораторных работ.

Одновременно допускается проведение лабораторных работ с группой не более 2–3 учащихся под наблюдением преподавателя.

Во время работы и транспортировки стенда запрещается прикладывать внешние нагрузки на трубопроводы, устройства и баки (в т.ч. опираться на них или класть посторонние предметы), запрещена транспортировка стенда при наличии жидкости в баках.

Запрещается также сборка – разборка соединений трубопроводов и элементов эжекторной установки, их подтяжка при работающих насосах или наличии воды в накопительном баке, трубопроводах и мерных емкостях.

Перед включением насосов *H1*, *H2* убедиться в том, что:

1. Полностью закрыты краны *KP6* (при отсутствии внешнего подвода газа), *KP7* и задвижки *З1*, *З2*.

2. Кран соответствующего всасывающего трубопровода насосов не перекрыт. Таким образом, при работе краны *KP1* и *KP2* должны быть постоянно и

полностью открыты. Кран $KP2$ допускается закрывать только при открытом $KP3$ и работающем насосе $H1$ (последовательное включение насосов).

3. Высота уровня воды в баке $B1$ достаточна для нормальной работы (по показаниям указателя уровня, который расположен на торцевой стенке бака).

4. Трубопроводы и гибкие рукава не имеют внешних повреждений и смятий.

При включении вакуумного насоса $H3$ убедиться, что включен циркуляционный насос $H4$.

Мероприятия по изменению схемы установки эжекторов (приложение 3) и замене сменных элементов осуществляет лаборант.

4. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

4.1. Исследование характеристик жидкостного эжектора

Целью лабораторной работы является снятие основных характеристик жидкостного эжектора и сопоставление их с расчетными.

Исследуемым является эжектор $Эж2$, а эжектор $Эж1$ выполняет функцию канала поступления пассивного потока с расходом $Q_{ж2}$, при этом активный поток подводится к соплу эжектора $Эж2$ с расходом $Q_{ж1}$. Канал подачи воздуха перекрыт (рис. 4.1).

Перед проведением работы необходимо подготовить исследовательский комплекс в соответствии со схемой установки эжекторов (см. рис. 4.1, приложение 3) и установить сопловой диск №6 и сопло №1 (приложение 2).

Порядок действий:

1. Полностью закрыть задвижки $З1$, $З2$, $З4$, $З5$ и краны $KP3$, $KP4$, $KP6$, $KP7$. Задвижку $З3$ и краны $KP1$, $KP2$, $KP5$ полностью открыть.

2. Убедиться, что уровень воды в баке достаточен, закрыты вход в приемную камеру эжектора $Эж1$ и дроссель $ДР1$.

3. Записать в табл. 4.1 показание барометра и температуру воздуха в помещении лаборатории.

4. Поднять вверх тумблер питания на блоке управления и включить питание насосов $H1$ и $H2$.

5. Постепенно полностью открыть задвижки $З1$, $З2$.

6. Дождаться пока вода не начнет циркулировать по замкнутому контуру.

7. Записать в табл. 4.1 показания манометра $M2$ (p_1), мановакуумметра $MB1$ (p_2), и мановакуумметра $MB2$ (p_5).

8. Снять показания расходомеров $PM1$ ($Q_{ж1}$), $PM2$ ($Q_{ж2}$) и записать в табл. 4.1.

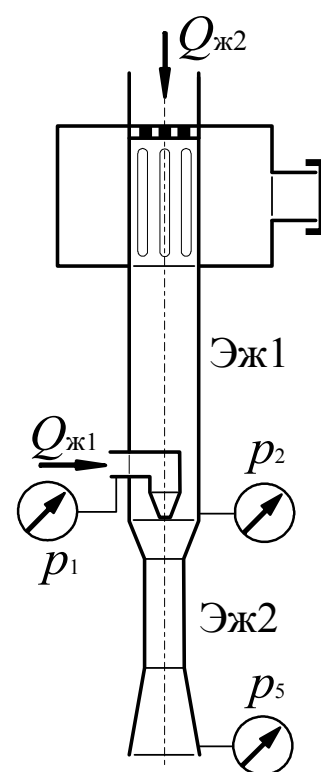


Рис. 4.1. Схема к лаб. работе №1

9. Поочередно закручивая задвижки 31 и 32, повторить действия по пунктам п. 6,7 для значений степени закрытия задвижек из табл. 4.1.

10. Выключить питание насосов $H1$ и $H2$ и опустить вниз тумблер питания.

11. Рассчитать опытные значения скорости $V_i=4Q_{жи}/(\pi \cdot d_i^2)$ и полного напора H_i для сечений $i=1, 2, 5$, относительный напор эжектора $h^{\text{опыт}}$ по формуле (1.6), коэффициент эжекции α по формуле (1.4), а также максимальный $\eta_{\text{max}}^{\text{опыт}}$ и минимальный $\eta_{\text{min}}^{\text{опыт}}$ к.п.д. по формулам (1.10) и (1.11), соответственно. Все значения записать в табл. 4.1.

12. Рассчитать теоретические значения $h^{\text{теор}}$, $\eta_{\text{max}}^{\text{опыт}}$, $\eta_{\text{min}}^{\text{опыт}}$ по формулам (1.14), (1.10) и (1.11), соответственно.

13. Построить графики безразмерной напорной теоретической характеристики и нанести на нее опытные точки в координатах: относительный напор - коэффициент эжекции $h=f(\alpha)$.

14. Построить графики эффективности рабочего процесса для теоретических и опытных значений в координатах: к.п.д. – коэффициент эжекции $\eta_{\text{max}}=f(\alpha)$, $\eta_{\text{min}}=f(\alpha)$.

15. Отметить на полученных опытных характеристиках наиболее эффективные режимы работы эжектора в качестве насоса (по η_{min}) и насоса-смесителя (по η_{max}).

16. Сравнивая результаты испытания с теоретическими расчетами, выяснить степень расхождения в процентах.

17. Сделать выводы.

Таблица 4.16

| Температура воздуха в помещении $T_{Г} =$, К | | Атмосферное давление $p_{атм} =$, мм рт. ст. | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------------------|---|-------------|-------------|------------------------------|------------------------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----------|-----------|----------|------------|---------------------|---------------------|------------|---------------------|---------------------|
| Степень закрытия задвижки 31, обороты | Степень закрытия задвижки 32, обороты | Опытные данные | | | | | | | | Теор. данные | | | | | | | | | |
| | | p_1 , кПа | p_2 , кПа | p_5 , кПа | $Q_{ж1}$, м ³ /с | $Q_{ж2}$, м ³ /с | V_1 , м/с | V_2 , м/с | V_5 , м/с | H_1 , м | H_2 , м | H_5 , м | α | h , опыт | η_{max} , опыт | η_{min} , опыт | h , теор | η_{max} , теор | η_{min} , теор |
| 0 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

4.2. Исследование характеристик жидкостно-газового эжектора

Целью лабораторной работы является снятие характеристики жидкостно-газового эжектора и выявление наиболее эффективного режима работы.

В данной работе проводятся опыты с эжектором Эж1 в соответствии со схемой, изображенной на рис. 4.2. На эжектор Эж1 подается высоконапорная жидкостная среда, которая увлекает воздух из помещения через расходомерную шайбу.

Перед проведением работы необходимо подготовить исследовательский комплекс в соответствии со схемой установки эжекторов (см. рис. 4.2, приложение 3) и установить расходомерную шайбу №1 и сопловой диск №6 (приложение 2).

Порядок действий:

1. Полностью закрыть задвижки 31, 32, 34, 35 и краны Кр3, Кр5, Кр6, Кр7. Задвижку 33 и краны КР1, КР2, КР4 полностью открыть.

2. Убедиться, что уровень воды в баке достаточен, закрыт дроссель ДР1.

3. Записать в табл. 4.2 показание барометра и температуру воздуха в помещении лаборатории.

4. Поднять вверх тумблер питания на блоке управления и включить питание насоса Н1.

5. Постепенно полностью открыть задвижку 31.

6. Дождаться пока вода и воздух не начнут циркулировать по замкнутому контуру.

7. Записать в табл. 4.2 показания манометра М1 (p_1), вакуумметра В1 (p_2) и мановакуумметра МВ2 (p_5).

8. Снять показание расходомера РМ2 ($Q_{ж}$) и записать в табл. 4.2.

9. Закручивая задвижку 33, повторить действия по пунктам п. 7, 8 для значений степени закрытия задвижки из табл. 4.2.

10. Выключить питание насоса Н1 и закрыть задвижку 31.

11. Поменять расходомерную шайбу и сопловой диск на указанные преподавателем. Замену сменных элементов производит лаборант.

12. Повторить действия по п. 3-11.

13. Опустить вниз тумблер питания.

14. Рассчитать степень сжатия жидкостно-газового эжектора $\varepsilon_{52} = p_5/p_2$ и коэффициент эжекции $\alpha = Q_{г}/Q_{ж}$ и записать в табл. 4.2. Объемный расход газа $Q_{г}$ определяется по формуле:

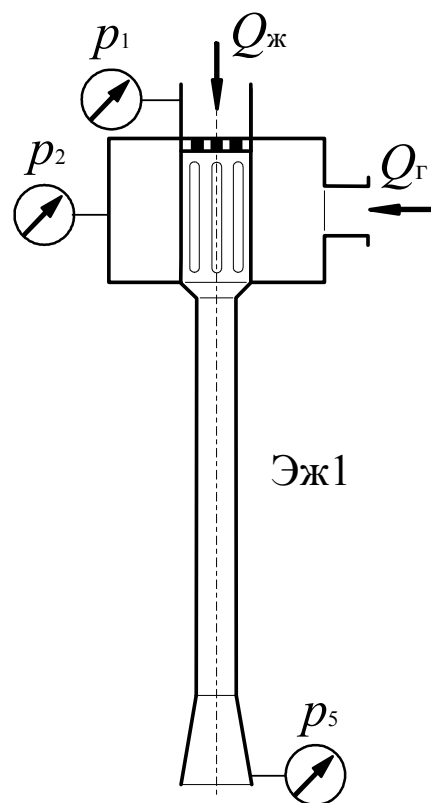


Рис. 4.2. Схема к лаб. работе №2

$$Q_{\Gamma} = \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} = \frac{\varepsilon \cdot \varphi \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4} \cdot p_{\text{атм}} \cdot \sqrt{\frac{2k}{(k-1) \cdot RT_{\Gamma}} \cdot \left(\left[\frac{p_2}{p_{\text{атм}}} \right]^{2/k} - \left[\frac{p_2}{p_{\text{атм}}} \right]^{k+1/k} \right)}}{\rho_{\Gamma}},$$

$$\text{при } \frac{p_2}{p_{\text{атм}}} > 0,528$$

и

$$Q_{\Gamma} = \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} = \frac{\varepsilon \cdot \varphi \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4} \cdot p_{\text{атм}} \cdot \sqrt{\frac{k}{RT_{\Gamma}} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}}{\rho_{\Gamma}}, \text{ при } \frac{p_2}{p_{\text{атм}}} \leq 0,528.$$

Здесь $\rho_{\Gamma} = p_2 / RT_{\Gamma}$ – плотность газа в приемной камере при давлении всасывания p_2 ; $\varepsilon=1$ – коэффициент сжатия, характеризующий соотношение площадей струи и отверстия; $\varphi=0,97$ – коэффициент скорости; $k=1,4$ – показатель адиабаты; $R=287 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – удельная газовая постоянная.

15. Рассчитать динамический параметр струи Γ по формуле:

$$\Gamma = \frac{16 \cdot \rho_{\text{ж}} \cdot Q_{\text{ж}}^2}{p_2 \cdot \pi^2 \cdot z^2 \cdot d_{\text{отв}}^4},$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости; z – количество отверстий в сопловом диске; $d_{\text{отв}}$ – диаметр отверстий в сопловом диске.

16. Рассчитать к.п.д. жидкостно-газового струйного аппарата по формуле:

$$\eta = \frac{\alpha \cdot \ln \varepsilon_{52}}{K_{\Gamma} \cdot (\varepsilon_{12} - \varepsilon_{52})},$$

где $K_{\Gamma} = T_{\Gamma} / T_{\text{ж}}$ – поправочный коэффициент на различие температур жидкости $T_{\text{ж}}$ и газа T_{Γ} перед их поступлением на эжектор. Температуру жидкости фиксируем по показанию на дисплее расходомера $PM2$; $\varepsilon_{12} = p_1 / p_2$ – степень падения давления на сопловом устройстве.

17. Построить на одной координатной плоскости четыре безразмерные характеристики жидкостно-газового эжектора с разными расходомерными шайбами в координатах: степень сжатия – динамический параметр струи – коэффициент эжекции $\varepsilon_{52} = f(\alpha)$ и $\Gamma = f(\alpha)$. Сравнить характеристики и проанализировать, полученные результаты.

18. Построить две кривые на одном графике, характеризующие эффективность рабочего процесса эжектора, в координатах: к.п.д. - коэффициент эжекции $\eta = f(\alpha)$. Отметить на полученных опытных характеристиках наиболее эффективный режим работы жидкостно-газового эжектора.

19. Сделать выводы.

Таблица 4.2

| Расходомерная шайба №1, сопловой диск №6 | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|-------------|-------------|---|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|----------|----------|--------|
| Температура воздуха в помещении $T_{Г} =$, К. | | | | Атмосферное давление $p_{атм} =$, мм рт. ст. | | | | | | | |
| Степень закрытия задвижки ЗЗ, обороты | Измеряемые параметры | | | | Расчетные значения | | | | | | |
| | p_1 , кПа | p_2 , кПа | p_5 , кПа | $Q_{жс}$, м ³ /с | $T_{жс}$, К | ϵ_{52} | ϵ_{12} | $Q_{г}$, м ³ /с | α | Γ | η |
| 0 | | | | | | | | | | | |
| 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | | | | | | | | | | | |
| Расходомерная шайба № , сопловой диск № | | | | | | | | | | | |
| Температура воздуха в помещении $T_{Г} =$, К. | | | | Атмосферное давление $p_{атм} =$, мм рт. ст. | | | | | | | |
| Степень закрытия задвижки ЗЗ, обороты | Измеряемые параметры | | | | Расчетные значения | | | | | | |
| | p_1 , кПа | p_2 , кПа | p_5 , кПа | $Q_{жс}$, м ³ /с | $T_{жс}$, К | ϵ_{52} | ϵ_{12} | $Q_{г}$, м ³ /с | α | Γ | η |
| 0 | | | | | | | | | | | |
| 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | | | | | | | | | | | |

4.3. Исследование характеристик струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой

Целью лабораторной работы является снятие характеристики струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой и выявление наиболее эффективного режима работы.

В данной работе исследуется эжектор Эж2. На струйные насосы Эж1 и Эж2 подается жидкость, подвод воздуха осуществляется через расходомерную шайбу (рис. 4.3). Жидкость, проходящая через сопловой диск эжектора Эж1, увлекает воздух, в результате чего образуется водовоздушная смесь, которая является пассивной средой. Активный жидкостный поток, проходящий через сопло эжектора Эж2, в свою очередь увлекает водовоздушную смесь.

Перед проведением работы необходимо подготовить исследовательский комплекс в соответствии со схемой установки эжекторов (см. рис. 4.3, приложение 3) и установить расходомерную шайбу №1, сопловой диск №6 и сопло №1 (приложение 2).

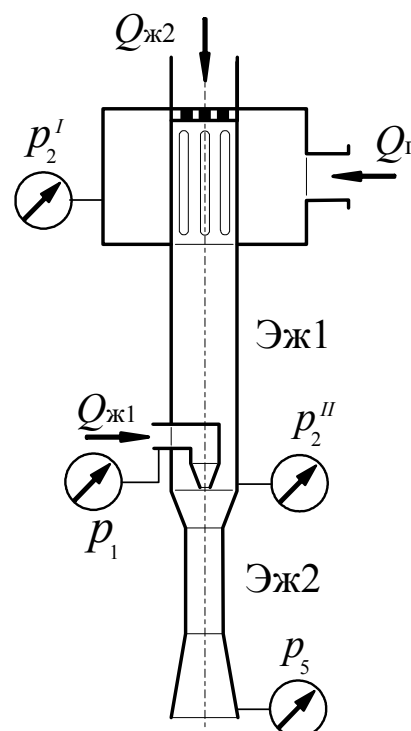


Рис. 4.3. Схема к лаб. работе №3

Порядок действий:

1. Полностью закрыть задвижки 31, 32, 34, 35 и краны Кр3, Кр4, Кр6, Кр7. Задвижку 33 и краны Кр1, Кр2, Кр5 полностью открыть.
2. Убедиться, что уровень воды в баке достаточен и закрыт дроссель ДР1.
3. Записать в табл. 4.3 показание барометра и температуру воздуха в помещении лаборатории.
4. Поднять вверх тумблер питания на блоке управления и включить питание насосов Н1 и Н2.
5. Постепенно полностью открыть задвижки 31, 32.
6. Дождаться пока вода и воздух не начнут циркулировать по замкнутому контуру.
7. Установить задвижкой 31 расход $Q_{ж1}$, заданный преподавателем.
8. Постепенно, закрывая задвижку 33, установить такой расход $Q_{ж2}$, чтобы абсолютное вакуумное давление в приемной камере эжектора Эж1 равнялось $p_2^I = 80 \dots 95$ кПа.
9. Записать в табл. 4.3 показания манометра М2 (p_1), вакуумметра В1 (p_2^I) мановакуумметра МВ1 (p_2^{II}), и мановакуумметра МВ2 (p_5).
10. Снять показания расходомеров РМ1 ($Q_{ж1}$), РМ2 ($Q_{ж2}$) и записать в табл. 4.3.
11. Постепенно, закрывая задвижку 33, и открывая задвижку 34 и/или дроссель ДР1 добиться разрежения, равного давлению p_2^I , установленному в п. 8.

Если не удастся установить давление p_2^I , то необходимо включить вакуумный насос НЗ, при полностью открытых задвижках 34, 35, и путем постепенного закрытия задвижки 34 установить давление p_2^I .

12. Убедиться, что расход, проходящий через эжектор Эж2, равен $Q_{ж1}=5,8$ м³/ч. В противном случае регулированием задвижкой 31 установить данное значение расхода.

13. Повторить порядок действий по п. 9-12, поддерживая постоянными давление p_2^I и расход $Q_{ж1}$ при различных степенях открытия задвижки 33 согласно табл. 4.3.

14. Выключить питание насосов Н1, Н2, НЗ и опустить вниз тумблер питания.

15. Поменять расходомерную шайбу, сопловой диск и сопло на указанные преподавателем. Замену сменных элементов производит лаборант.

16. Повторить порядок действий по п. 3-14 и записать данные в табл. 4.3

17. Рассчитать степень сжатия струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой $\varepsilon_{52}=p_5/p_2^I$ и коэффициент эжекции $\alpha_r=Q_r/(Q_{ж1}+Q_{ж2})$ и записать в табл. 4.3. Объемный расход газа Q_r определяется по формуле:

$$Q_r = \frac{m_r}{\rho_r} = \frac{\varepsilon \cdot \varphi \cdot \frac{\pi \cdot d_{ш}^2}{4} \cdot p_{атм} \cdot \sqrt{\frac{2k}{(k-1) \cdot RT_r} \cdot \left(\left[\frac{p_2^I}{p_{атм}} \right]^{2/k} - \left[\frac{p_2^I}{p_{атм}} \right]^{k+1/k} \right)}}{\rho_r},$$

при $\frac{p_2^I}{p_{атм}} > 0,528$

и

$$Q_r = \frac{m_r}{\rho_r} = \frac{\varepsilon \cdot \varphi \cdot \frac{\pi \cdot d_{ш}^2}{4} \cdot p_{атм} \cdot \sqrt{\frac{k}{RT_r} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}}{\rho_r}, \text{ при } \frac{p_2^I}{p_{атм}} \leq 0,528.$$

Здесь $\rho_r = p_2^I / (RT_r)$ – плотность газа в приемной камере при давлении всасывания p_2^I ; $\varepsilon=1$ – коэффициент сжатия, характеризующий соотношение площадей струи и отверстия; $\varphi=0,97$ – коэффициент скорости; $k=1,4$ – показатель адиабаты; $R=287$ Дж/кг·К – удельная газовая постоянная.

18. Рассчитать к.п.д. струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой по формуле:

$$\eta = \frac{\alpha_r \cdot \ln \varepsilon_{52}}{K_T \cdot (\varepsilon_{12} - \varepsilon_{52})},$$

где $K_T = T_g / T_{ж}$ – поправочный коэффициент на различие абсолютных температур жидкости $T_{ж}$ и газа T_g перед их поступлением на эжектор. Температуру жидкости фиксируем по показанию на дисплее расходомера $PM2$; $\varepsilon_{12} = p_1 / p_2^{II}$ – степень падения давления на сопловом устройстве.

19. Построить две кривые на одном графике безразмерной характеристики струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой с разными расходомерными шайбами в координатах: степень сжатия – коэффициент эжекции $\varepsilon_{52} = f(\alpha_T)$. Сравнить обе кривые и проанализировать, полученный результат.

20. Построить две кривые на одном графике, характеризующие эффективность рабочего процесса струйного насоса, в координатах: к.п.д. - коэффициент эжекции $\eta = f(\alpha)$. Отметить на полученных опытных характеристиках наиболее эффективный режим работы струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой.

21. Сделать выводы.

Таблица 4.3

| Расходомерная шайба №1, сопловой диск №6, сопло №1 | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|---------------|---|-------------|------------------------------|------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|--------------|--------|
| Температура воздуха в помещении $T_{Г} =$, К. | | | Атмосферное давление $p_{атм} =$, мм рт. ст. | | | | | | | | | |
| Степень закрытия задвижки 33, обороты | Измеряемые параметры | | | | | | Расчетные значения | | | | | |
| | p_1 , кПа | p_2^1 , кПа | p_2^II , кПа | p_5 , кПа | $Q_{ж1}$, м ³ /с | $Q_{ж2}$, м ³ /с | $T_{жс}$, К | ε_{52} | ε_{12} | $Q_{Г}$, м ³ /с | $\alpha_{Г}$ | η |
| 0 | | | | | | | | | | | | |
| 1/2 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | | | | | | | | | | | | |
| Расходомерная шайба № , сопловой диск № , сопло № | | | | | | | | | | | | |
| Температура воздуха в помещении $T_{Г} =$, К. | | | Атмосферное давление $p_{атм} =$, мм рт. ст. | | | | | | | | | |
| Степень закрытия задвижки 33, обороты | Измеряемые параметры | | | | | | Расчетные значения | | | | | |
| | p_1 , кПа | p_2^1 , кПа | p_2^II , кПа | p_5 , кПа | $Q_{ж1}$, м ³ /с | $Q_{ж2}$, м ³ /с | $T_{жс}$, К | ε_{52} | ε_{12} | $Q_{Г}$, м ³ /с | $\alpha_{Г}$ | η |
| 0 | | | | | | | | | | | | |
| 1/2 | | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | | | | | | | | | | | | |

4.4 Исследование характеристик двухступенчатого эжектора

Целью лабораторной работы является снятие характеристики двухступенчатого эжектора опытным путем.

В данной работе исследуется двухступенчатый эжектор, состоящий из соединенных последовательно эжекторов Эж1 и Эж2. На эжектора Эж1 и Эж2 подается жидкость, расходомерное сопло открыто (рис. 4.4). Жидкость, проходящая через сопловой диск эжектора Эж1, увлекает воздух через расходомерное сопло. Образовавшаяся газожидкостная смесь далее увлекается активным жидкостным потоком, проходящим через сопло эжектора Эж2.

Перед проведением работы необходимо подготовить исследовательский комплекс в соответствии со схемой установки эжекторов (см. рис. 4.4, приложение 3) и установить расходомерную шайбу №1, сопловой диск №6 и сопло №1 (приложение 2).

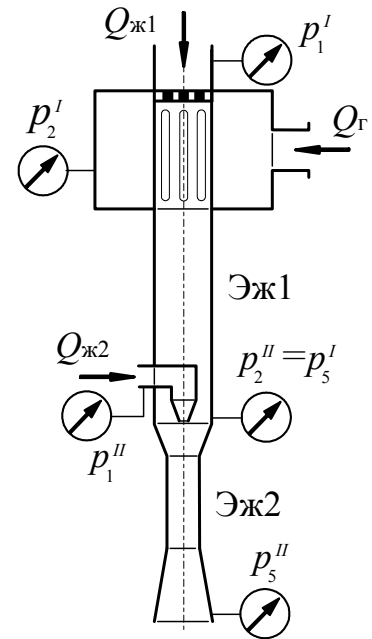


Рис. 4.4. Схема к лаб. работе №4

Порядок действий:

1. Полностью закрыть задвижки 31, 32, 34, 35 и краны Кр3, Кр4, Кр6, Кр7. Задвижку 33 и краны Кр1, Кр2, Кр5 полностью открыть.
2. Убедиться, что уровень воды в баке достаточен и закрыт дроссель ДР1.
3. Записать в табл. 4.4 показание барометра и температуру воздуха в помещении лаборатории.
4. Поднять вверх тумблер питания на блоке управления и включить питание насосов Н1 и Н2.
5. Постепенно полностью открыть задвижки 31, 32.
6. Дождаться пока вода и воздух не начнут циркулировать по замкнутому контуру.
7. Записать в табл. 4.4 показания манометров М1 (p_1^I) и М2 (p_1^{II}), вакуумметра В1 (p_2^I) мановакууметров МВ1 (p_2^{II}) и МВ2 (p_5^{II}).
8. Снять показания расходомеров РМ1 ($Q_{ж1}$), РМ2 ($Q_{ж2}$) и записать в табл. 4.4.
9. В соответствии со степенями закрытия задвижки 31 в табл. 4.4, повторить порядок действий по п. 7, 8, поддерживая постоянным расход $Q_{ж1}$.
10. Выключить питание насосов Н1, Н2 и опустить вниз тумблер питания.
11. Поменять расходомерную шайбу, сопловой диск и сопло на указанные преподавателем. Замену сменных элементов производит лаборант.
12. Повторить порядок действий по п. 3-10 и записать данные в табл. 4.4
13. Рассчитать степень сжатия двухступенчатого эжектора $\varepsilon_{52} = p_5^{II}/p_2^I$, коэффициент эжекции $\alpha_g = Q_g / (Q_{ж1} + Q_{ж2})$ и записать в табл. 4.4. Объемный расход газа Q_g определяется по формуле:

$$Q_{\Gamma} = \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} = \frac{\varepsilon \cdot \varphi \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4} \cdot p_{\text{атм}} \cdot \sqrt{\frac{2k}{(k-1) \cdot RT_{\Gamma}} \cdot \left(\left[\frac{p_2^I}{p_{\text{атм}}} \right]^{2/k} - \left[\frac{p_2^I}{p_{\text{атм}}} \right]^{k+1/k} \right)}}{\rho_{\Gamma}},$$

$$\text{при } \frac{p_2^I}{p_{\text{атм}}} > 0,528$$

и

$$Q_{\Gamma} = \frac{m_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}} = \frac{\varepsilon \cdot \varphi \cdot \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}^2}{4} \cdot p_{\text{атм}} \cdot \sqrt{\frac{k}{RT_{\Gamma}} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}}{\rho_{\Gamma}}, \text{ при } \frac{p_2^I}{p_{\text{атм}}} \leq 0,528.$$

Здесь $\rho_{\Gamma} = p_2^I / (RT_{\Gamma})$ – плотность газа в приемной камере при давлении всасывания p_2^I ; $\varepsilon = 1$ – коэффициент сжатия, характеризующий соотношение площадей струи и отверстия; $\varphi = 0,97$ – коэффициент скорости; $k = 1,4$ – показатель адиабаты; $R = 287 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$ – удельная газовая постоянная.

10. Построить две кривые на одном графике безразмерной характеристики струйного насоса с эжектируемой газожидкостной средой с разными расходомерными шайбами в координатах: степень сжатия – коэффициент эжекции $\varepsilon_{52} = f(\alpha_{\Gamma})$. Сравнить обе кривые и проанализировать, полученный результат.

11. Сделать выводы.

Таблица 4.4

| Расходомерная шайба №1, сопловой диск №6, сопло №1 | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|------------------|---------------|----------------------|------------------|------------------------------|------------------------------|---|--------------------|-----------------------------|--------------|
| Температура воздуха в помещении $T_{Г} =$, К. | | | | Измеряемые параметры | | | | Атмосферное давление $p_{атм} =$, мм рт. ст. | | | |
| Степень закрытия задвижки 33, обороты | p_1^I , кПа | p_1^{II} , кПа | p_2^I , кПа | p_2^{II} , кПа | p_5^{II} , кПа | $Q_{ж1}$, м ³ /с | $Q_{ж2}$, м ³ /с | $T_{жс}$, К | ε_{52} | $Q_{Г}$, м ³ /с | $\alpha_{Г}$ |
| | 0 | | | | | | | | | | |
| 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | | | | | | | | | | | |
| Расходомерная шайба №1, сопловой диск №6, сопло №1 | | | | | | | | | | | |
| Температура воздуха в помещении $T_{Г} =$, К. | | | | Измеряемые параметры | | | | Атмосферное давление $p_{атм} =$, мм рт. ст. | | | |
| Степень закрытия задвижки 33, обороты | p_1^I , кПа | p_1^{II} , кПа | p_2^I , кПа | p_2^{II} , кПа | p_5^{II} , кПа | $Q_{ж1}$, м ³ /с | $Q_{ж2}$, м ³ /с | $T_{жс}$, К | ε_{52} | $Q_{Г}$, м ³ /с | $\alpha_{Г}$ |
| | 0 | | | | | | | | | | |
| 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2 | | | | | | | | | | | |

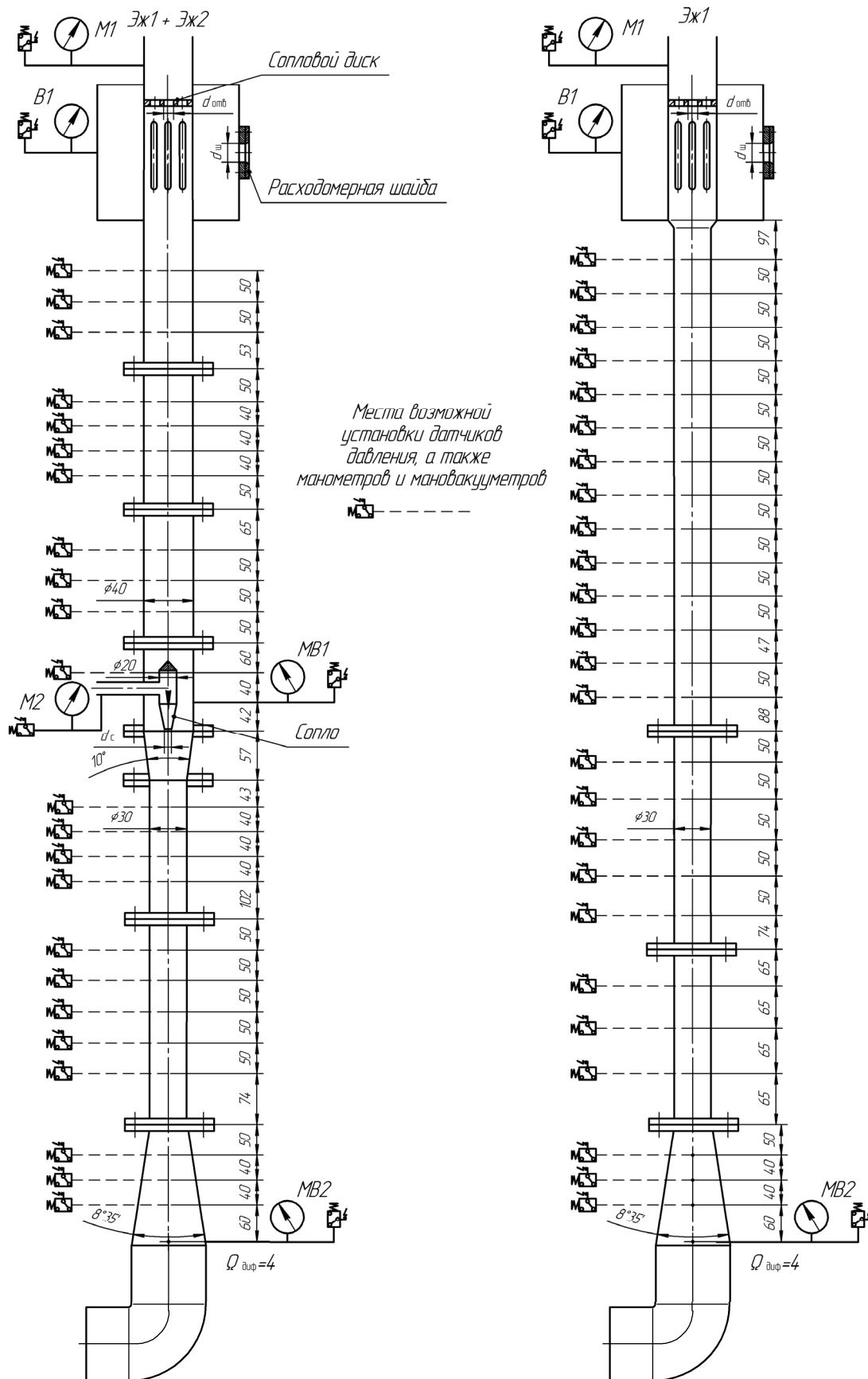
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирилловский, Ю.Л. Расчет струйных насосов и установок. Труды ВНИИГидромаш / Ю.Л. Кирилловский, Л.Г. Подвидз. – М., 1968. – Вып. 38. – С. 44–95.
2. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.: ил.
3. Темнов, В.К. Расчет и проектирование жидкостных эжекторов: учебное пособие / В.К. Темнов, Е.К. Спиридонов. – Челябинск: ЧПИ, 1984. – 44 с.
4. Уоллис, Г. Одномерные двухфазные течения. – М.: Мир, 1972. – 440 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Геометрические параметры и места установки датчиков давления в эжекторах



Геометрические параметры сменных элементов

Таблица П1

| Параметры соплового диска | | |
|---------------------------|----------------------|---|
| № | Кол-во отверстий z | Средние диаметры отверстий $d_{отв}$, мм |
| 1 | 31 | 2,7 |
| 2 | 25 | 3,65 |
| 3 | 18 | 4,48 |
| 4 | 15 | 4,63 |
| 5 | 7 | 7,77 |
| 6 | 5 | 7,70 |

Таблица П2

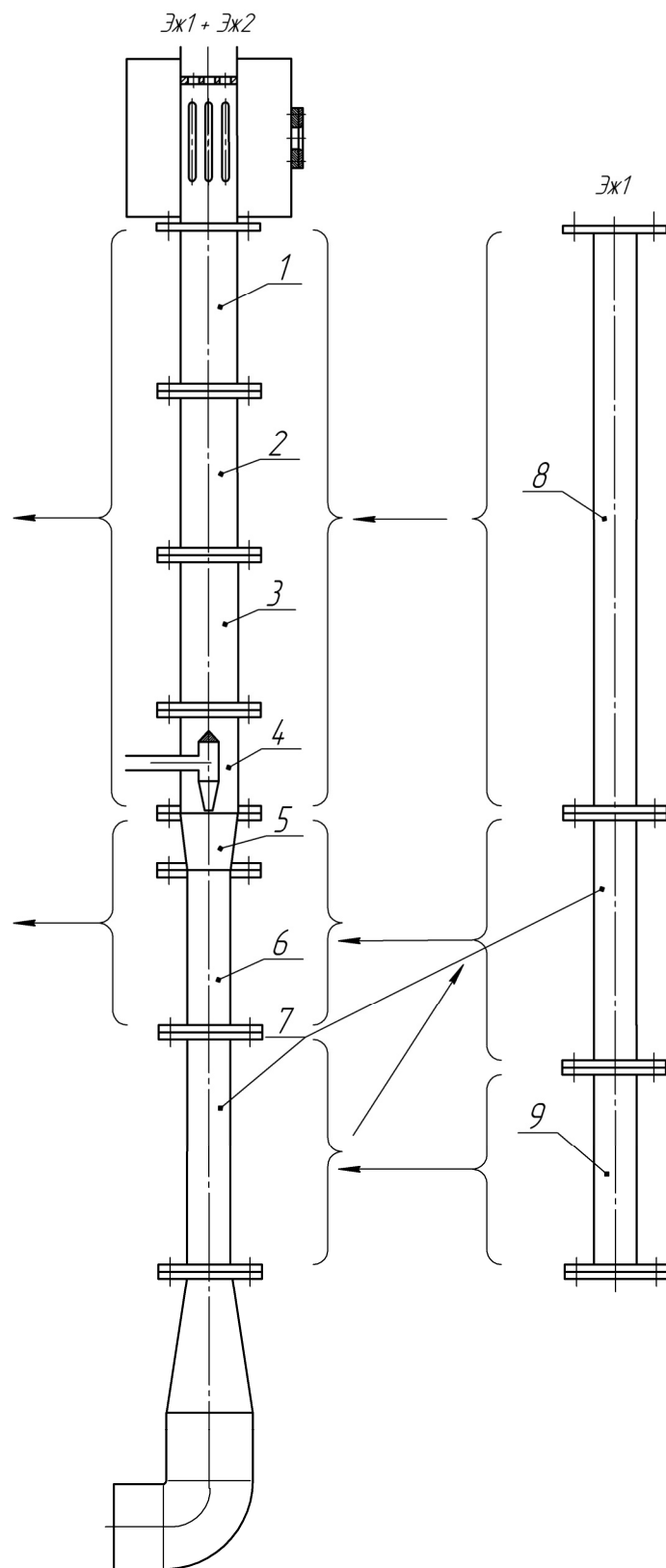
| Параметры расходомерной шайбы | | | | | | |
|-------------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $d_{ш}$, мм | 4,68 | 6,52 | 8,56 | 10,75 | 12,94 | 15,24 |

Таблица П3

| Параметры сопел | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| d_c , мм | 1,43 | 3,56 | 5,52 | 7,59 | 9,58 |

Схема изменения конструкции исследовательского комплекса

Для изменения схемы с двумя эжекторами Эж1+Эж2 на схему с одним эжектором Эж1 необходимо заменить сменные элементы 1...6 рабочих камер эжекторов на сменные элементы 8 и 9. При этом сменный элемент 7 присутствует в обеих схемах.



Евгений Константинович Спиридонов,
Александр Рашидович Исмагилов

СТРУЙНЫЕ НАСОСЫ

Учебное пособие
по выполнению лабораторных работ

Техн. редактор А.В. Миних

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано в печать 23.05.2013. Формат 60×84 1/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,86. Тираж 100 экз. Заказ 136/373. Цена С.

Отпечатано в типографии Издательского центра ЮУрГУ.
454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76.