

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ
КӨЛІК – ЭНЕРГЕТИКА ФАКУЛЬТЕТІ



***«КӨЛІК ЖӘНЕ ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ӨЗЕКТІ МӘСЕЛЕЛЕРІ:
ИННОВАЦИЯЛЫҚ ШЕШУ ТӘСІЛДЕРІ» XI ХАЛЫҚАРАЛЫҚ
ҒЫЛЫМИ-ТӘЖІРИБЕЛІК КОНФЕРЕНЦИЯСЫНЫҢ БАЯНДАМАЛАР
ЖИНАҒЫ***

***СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XI МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО – ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ: «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТРАНСПОРТА И
ЭНЕРГЕТИКИ: ПУТИ ИХ ИННОВАЦИОННОГО РЕШЕНИЯ»***

***PROCEEDINGS OF THE XI INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICE
CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF TRANSPORT AND ENERGY:
THE WAYS OF ITS INNOVATIVE SOLUTIONS»***

Астана, 2023

УДК 656+620.9
ББК 39+31
А43

Редакционная коллегия:

Председатель – Курмангалиева Ж.Д. Член Правления – Проректор по науке, коммерциализации и интернационализации; Заместитель председателя – Кокаев У.Ш. декан транспортно-энергетического факультета, к.т.н., доцент; Султанов Т.Т. – заместитель декана по научной работе, к.т.н., доцент; Арпабеков М.И. – заведующий кафедрой «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», д.т.н., профессор; Тогизбаева Б.Б. – заведующий кафедрой «Транспорт, транспортная техника и технологии», д.т.н., профессор; Байхожаева Б.У. – заведующий кафедрой «Стандартизация, сертификация и метрология», д.т.н., профессор; Сакипов К.Е.– заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», к.т.н., доцент; Жакишев Б.А.– заведующий кафедрой «Электроэнергетика», к.т.н., доцент.

А43 Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения: XI Международная научно – практическая конференция, г. Астана, 16 марта 2023/Подгот. Ж.Д. Курмангалиева, У.Ш. Кокаев, Т.Т. Султанов – Астана, 2023. – 709с.

ISBN 978-601-337-844-2

В сборник включены материалы XI Международной научно – практической конференции на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», проходившей в г. Астана 16 марта 2023 года.

Тематика статей и докладов участников конференции посвящена актуальным вопросам организации перевозок, движения и эксплуатации транспорта, стандартизации, метрологии и сертификации, транспорту, транспортной техники и технологии, теплоэнергетики и электроэнергетики.

Материалы конференции дают отражение научной деятельности ведущих ученых дальнего и ближнего зарубежья, Республики Казахстан и могут быть полезными для докторантов, магистрантов и студентов.



Пайдаланылған әдебиет тізімі

1. Касымов У.Т., Касабеков М.И, С.Пазылбек, Д.С.Ергалиев, Отегали С.М. Основы аэрокосмического специального машиностроения. Уч. пособие, «Мастер ПО», Астана, 2017, 200 с
2. Касымов У.Т., Касабеков М.И, Об актуальности нового вида транспортного средства и состоянии конструкторских проектов в Казахстане. Сборник статей по материалам LXIX международной научно-практической конференции «Технические науки - от теории к практике». Импакт-фактор:1,26. Новосибирск. 2017. С.61-70.
3. Касымов У.Т., Касабеков М.И, Отегали С.М. Б.М.Берик. Перспективы и развитие конструкторских проектов в Казахстане. American scientific journal, 2020 New York, Elmhurst AV, Queens, NY, United States

УДК 622.755

УРАВНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУЙНЫХ НАСОСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Касабеков Махмут Ильясович

mahmut_53@mail.ru

профессор кафедры «Механика» ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Касымов Умирзак Тажигалиевич

kasimov.umirzak@yandex.ru

профессор кафедры «Космическая техника и технология» ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Джундибаев Валерий Еремкович

dzhundibaev_v@mail.ru

профессор кафедры «Космическая техника и технология» ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Махмутов Тілеухан Қанатұлы

lime4451295@gmail.ru

Ученик школы-лицей №48 им. Ахмета Байтурсынова, Астана, Казахстан

В современных условиях струйные аппараты используются в разных областях: в авиационной и машиностроительной отраслях, в пожарной технике, на нефтебазах, как насосы, компрессоры, смесители. Жидкостный эжектор применяется в авиадвигателестроении, например, двигатель SteamJet. Данная установка представляет собой обычный турбореактивный двигатель с инжектором, обеспечивающим впрыск воды, жидкого воздуха или кислорода в воздушный канал воздухозаборника [1].

Струйный аппарат – это устройство, в котором происходит передача кинетической энергии от одной среды, движущейся с большей скоростью, к другой. Эжектор, работая по закону Бернулли, создает в сужающемся сечении пониженное давление одной среды, что вызывает подсос другой среды, которая затем переносится и удаляется от места всасывания энергией первой среды [2, 3].

Смешиваемые потоки могут находиться в одной и той же фазе (жидкой, паровой, газовой) или в разных фазах (пар и жидкость, газ и твердое тело и др.). В процессе смешения фазовое состояние смешиваемых потоков может оставаться неизменным или же изменяться (например, пар может превратиться в жидкость). Поток, вступающий в процесс смешения с большей скоростью, называется рабочим, с меньшей скоростью- инжектируемым [4].

Один и тот же эжектор может работать на различных режимах и при различных соотношениях между начальными параметрами жидкостей. Характеристикой эжектора

называется зависимость между параметрами эжектора и условиями его работы. Экспериментально или в результате расчета можно получить разнообразные характеристики эжектора. Однако, наибольший интерес представляют обобщенные характеристики, позволяющие одним графиком охватить всю область возможных режимов работы эжектора [2].

Струйными насосами называются струйные аппараты, в которых обе взаимодействующие среды и смешанная среда могут считаться неупругими. Уравнение характеристики струйных насосов может быть получено на основе уравнения характеристики струйных компрессоров или газоструйных инжекторов [3].

Камера смешения может быть цилиндрической или иметь переменную по длине площадь сечения. Форма камеры оказывает заметное влияние на смешение. Ниже будут рассматриваться в основном эжекторы с цилиндрической смесительной камерой. Также мы рассмотрим принцип расчета эжекторов с камерой переменного сечения [1].

Уравнение характеристики струйного аппарата (гидроэлеватора) устанавливает связь между относительным перепадом давлений и относительными скоростями, диаметрами и коэффициентом эжекции при помощи множества других опытных коэффициентов, которые должны быть определены путем испытания каждого аппарата индивидуально.

При проектировании гидроэлеватора трудно заранее предназначать точные значения этих коэффициентов, что обязательно приводит к значительным отклонениям действительных результатов от расчетного. С другой стороны, для гидроциклонных насосных установок зачастую требуется решения обратной задачи - определения коэффициента эжекции (подсасывания) как функцию от заданных геометрических параметров струйного аппарата и гидравлических данных рабочей жидкости. И это должно быть удовлетворено минимальным расходом рабочей жидкости гидроэлеватора, забираемым из нагнетательной линии базового центробежного насоса, то есть

$$\frac{Q_{вс}}{Q_p} = q \rightarrow \max.$$

На рисунке приведена принципиальная схема струйного насоса. Им выведено характеристическое уравнение струйных насосов. Ниже с некоторыми изменениями в обозначениях приведем его полностью.

Уравнение импульсов для цилиндрической камеры смешения имеет вид

$$\begin{aligned} & \varphi_2 (m_p \vartheta_{p1} + m_{вс} \vartheta_{вс2}) - (m_p + m_{вс}) \vartheta_3 = \\ & = (P_3 - P_{вс2}) S_{вс2} + (P_3 - P_{p1}) S_{p1} = P_3 S_3 - P_{вс2} S_{вс2} - P_{p1} S_{p1} \end{aligned} \quad (1)$$

где: ϑ_p - средняя скорость рабочей струи на выходе из насадка;

$\vartheta_{вс2}$ - средняя скорость всасываемого потока во входном сечении камеры смешения;

ϑ_3 - средняя скорость смешанного потока в выходном сечении камеры смешения;

$m_p, m_{вс}$ - массовые расходы соответственно рабочей и всасываемой среды;

$P_{p1}, P_{вс2}, P_3$ - давления соответственно в выходном сечении рабочей насадки (сопли), во входном сечении камеры смешения и в выходном сечении камеры смешения;

$S_{p1}, S_{вс2}, S_3$ - площади поперечных сечений на срезе рабочей насадки, на входе в камеру смешения, на выходе из камеры смешения; ι

φ_2 - коэффициент скорости камеры смешения;

$S_{вс2}$ принято как $S_3 - S_{p1}$.

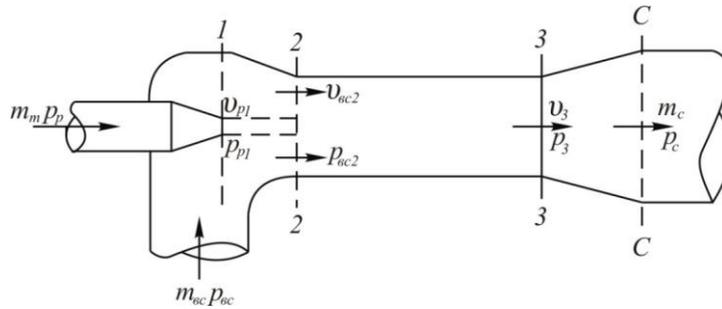


Рис. 1. Принципиальная схема струйного насоса

Скорости рабочего, всасываемого и смешанного потоков соответственно

$$v_{p1} = \frac{m_p}{\rho_p S_{p1}}; v_{vc2} = \frac{m_{vc}}{\rho_{vc} S_{vc2}}; v_3 = \frac{m_p + m_{vc}}{\rho_c S_3} \quad (2)$$

давления

$$P_3 = P_c - \frac{\rho_c v_3^2}{2\varphi_3^2}; P_{vc2} = P_{vc} - \frac{\rho_{vc} v_{vc2}^2}{2\varphi_4^2}; P_{p1} = P_p - \frac{\rho_p v_{p1}^2}{2\varphi_1^2}, \quad (3)$$

где: P_p, P_{vc}, P_c - давления соответственно рабочего, всасываемого и смешанного потоков;

$\varphi_1, \varphi_4, \varphi_3$ - коэффициенты соответственно скорости рабочего сопла, входного участка камеры смешения и диффузора.

Подставляя выражения (2) и (3) в уравнение (1) после соответствующих преобразований получим

$$\frac{\Delta P_c}{\Delta P_p} = \varphi_1^2 \frac{S_{p1}}{S_3} \left[2\varphi_2 + \left(2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2} \right) \frac{\rho_{vc} S_{p1}}{\rho_{vc} S_{vc2}} q^2 - (2 - \varphi_3^2) \frac{\rho_p S_{p1}}{\rho_c S_3} (1 + q)^2 \right], \quad (4)$$

где: $\Delta P_c = P_c - P_{vc}$; $\Delta P_p = P_p - P_{vc}$; $S_{vc2} = S_3 - S_{p1}$; $\frac{S_{p1}}{S_{vc2}} = \frac{S_{p1}}{S_3 - S_{p1}} = \frac{1}{\frac{S_3}{S_{p1}} - 1}$;

$$\varphi_1 = 0,95; \varphi_4 = 0,975; \varphi_3 = 0,925.$$

Уравнение (4) выражает относительный перепад давлений, создаваемый струйным насосом. Он зависит от S_{p1}/S_3 , коэффициентов $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ и коэффициента эжекции q . Уравнение (1.4) для струйных насосов без диффузоров имеет вид

$$\frac{\Delta P_3}{\Delta P_p} = \varphi_1^2 \frac{S_{p1}}{S_3} \left[2\varphi_2 + \left(2\varphi_2 - \frac{1}{\varphi_4^2} \right) \frac{\rho_p S_{p1}}{\rho_{vc} S_{vc2}} q^2 - 2 \frac{\rho_p S_{p1}}{\rho_c S_3} (1 + q)^2 \right], \quad (5)$$

где: $\Delta P_3 = P_3 - P_{vc}$; P_3 - давление на выходном сечении камеры смешения.

Определяющим геометрическим параметром струйных насосов является отношение площади поперечного сечения камеры смешения к площади поперечного сечения напорной насадки на её срезе (S_3/S_{p1}).

Струйные насосы, имеющие одинаковое отношение площадей поперечных сечений (S_3/S_{p1}) подобны, имеют одинаковые характеристики, если только число Рейнольдса рабочей жидкости, вытекающей из напорной насадки находятся в одной и той же автомодельной области. При малом значении (S_3/S_{p1}) струйные насосы обладают высоким напором, они создают большой относительный перепад давлений ($\Delta P_c/\Delta P_p$), но не могут развивать больших коэффициентов эжекции. При большом значении S_3/S_{p1} струйные насосы имеют меньший относительный перепад давлений, но повышается коэффициент эжекции q .

Совершенство струйных насосов определяется коэффициентом полезного действия (КПД)

$$\eta = q \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p - \Delta P_c} = \frac{q \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}}{\left(1 - \frac{\Delta P_c}{\Delta P_p}\right)}. \quad (6)$$

Эта теория имеет ряд недостатков:

1) она дает более точных результатов при $(S_3/S_{p1}) \geq 4$; а на практике часто применяются струйные насосы с отношением $(S_3/S_{p1}) < 4$;

2) при выводе уравнения (1.4) площадь поперечного сечения рабочей струй остается неизменным до входного сечения камеры смешения, что явно не выполняется;

3) уравнение (4) не пригодно для вихревых струйных насосов, ибо при его выводе не учитываются параметры, характеризующие закрученность струи.

Гидравлический расчет струйных аппаратов для гидротранспорта в принципе выполняется теми же уравнениями, которые выведены для струйных насосов.

Все эти уравнения характеристик струйного насоса (гидроэлеватора), выведенные из теоремы импульсов (теоремы об изменении количества движения) механической системы характеризуют поступательное движение жидкости между рассматриваемыми сечениями, поэтому на их основе допустимо выполнение гидравлических расчетов только прямооточных гидроэлеваторов. Закрученные течения в струйных насосах, применяемых в ЛА не могут быть описаны ими, ибо «количество движения» характеризует только прямолинейные движения жидкости. Процессы, происходящие в гидроэлеваторах ЛА лучше описываются с помощью теоремы об изменении кинетической энергии. Последнюю теорему можно использовать и для прямооточных гидроэлеваторов, и для вихревых. Применения теоремы импульсов, а также теоремы об изменении кинетической энергии для прямооточных гидроэлеваторов позволяют полнее раскрывать сущность явлений и процессов, происходящих в их приемных камерах и в камерах смешения [5].

Список использованных источников

1. Улитенко, Ю.А. Модернизация турбореактивного двухконтурного двигателя с форсажной камерой сгорания путем впрыска воды в проточную часть воздухозаборника // Ю.А. Улитенко, А.В. Еланский, И.Ф. Кравченко // Вестник двигателестроения. – 2014. – № 2. – С. 122-129.
2. Абрамович, Г.Н. Прикладная газовая динамика // Г.Н. Абрамович. – Издание 4-е, Исправленное и дополненное. – Москва: Наука, 1976. – 888 с.
3. Абрамович, Г.Н. Турбулентное смешение газовых струй // Г.Н. Абрамович, С.Ю. Крашенинников, А.Н. Секундов, И.П. Смирнова. – М.: Наука, 1974. – 272 с.
4. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты // Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер. – 3-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 352 с.
5. Абдураманов А.А. Струйные аппараты. Теория и практика// М.: Естествознания, 2018.