

03.04.13
П442

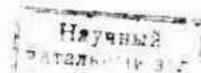
На правах рукописи

Подберко Александр Никторович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТРУЙНОГО НАСОСА
С ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ЭЖЕКТИРУЕМОЙ СРЕДОЙ**

Специальность 05.04.13 – “Гидравлические машины
и гидропневмоагрегаты”

АВТОРЭФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Пермь - 2000

Работа выполнена на кафедре "Гидравлика и гидропневмосистемы"
Южно-Уральского государственного университета.

Научный руководитель — доктор технических наук, профессор
СИРИДОНОВ Е.К.

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
РУСАКА М.,

кандидат технических наук, доцент
КВАШНИНА И.

Ведущее предприятие — Кармановская ГРЭС,

Зщита состоится _____ июня 2000 г., в _____ ч. на заседании
диссертационного совета К 063.66.08 при Пермском государственном
техническом университете: 614600, г. Пермь, Комсомольский пр., 29 а,
ПГТУ, ауд. 423.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ПГТУ.

Автореферат разослан "___" ____ 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., профессор

 Селезнянов В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для многих отраслей промышленности (энергетики, нефтегазовой, пищевой и др.) актуальным является создание высокопроизводительных процессов на основе многофазных сред. Среди применяемого для этих целей оборудования значительную долю составляют аппараты струйного типа, основными достоинствами которых являются высокая надежность и простота в эксплуатации. Однако рабочий процесс струйных аппаратов, особенно при работе на многофазных средах, отличается большой сложностью. Методы расчета гетерофазных аппаратов струйного типа носят в основном полуэмпирический характер, а в некоторых случаях и вовсе отсутствуют, что сдерживает более широкое внедрение в промышленность таких устройств.

Таким образом, научная и техническая проблема исследования процессов, протекающих при работе струйных аппаратов на газожидкостных смесях, существует и нуждается в приоритетном решении.

Цель работы. Целью научно-исследовательской работы является развитие теории струйных насосов применительно к аппаратам, откачивающим газожидкостные среды, создание метода их расчета и разработка рекомендаций по их проектированию. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач.

1. Разработать расчетную модель струйного насоса, эжектирующего газожидкостные смеси, на основе которой получить выражение безразмерной напорной характеристики рассматриваемого аппарата и изучить влияние на нее различных режимных и геометрических параметров, указав физически осуществимый диапазон работы устройства.
2. Экспериментальными исследованиями апробировать расчетную модель и внести в нее необходимые уточнения.
3. Выявить оптимальные режимы работы струйного аппарата, разработать метод расчета и рекомендации его оптимального проектирования.
4. Предложить конструктивные мероприятия по обеспечению эффективной и надежной работы аппарата в промышленных гидро- и пневмосистемах. Разработать струйный аппарат для систем вакуумирования энергетических установок.

Методы исследований. Для решения поставленных задач использованы методы механики жидкости и газа, математического моделирования процессов, протекающих в струйных насосах.

Научная новизна. Новыми в работе являются: физико-математическая модель струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой; основные характеристики аппарата и закономерности влияния на них различных режимных и геометрических параметров; реально осуществимые режимы работы рассматриваемого струйного насоса; способы эффективного использования аппарата в системах различного назначения; алгоритм расчета струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой.

Обоснованность и достоверность результатов работы. Степень достоверности диссертационной работы обеспечена использованием при составлении расчетной модели рабочего процесса фундаментальных законов сохранения, совпадением полученных выражений в крайних случаях состава эжектируемой среды с хорошо изученными характеристиками жидкостно-жидкостных струйных насосов и газожидкостных эжекторов, удовлетворительным согласованием результатов расчета и эксперимента. Основные положения и выводы доказываются аналитически и подтверждаются опытным путем.

Практическая ценность результатов работы и их реализация

Разработанные алгоритм, программа расчета и оригинальная конструктивная схема струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой могут быть использованы в энергетике, химической и нефтегазовой промышленности и в других отраслях для создания новых и оптимизации существующих аппаратов рассматриваемого типа.

На основе выполненных исследований спроектирован и внедрен в промышленную эксплуатацию струйный аппарат для технологических нужд Челябинского завода металлоконструкций. В настоящее время разрабатывается новая установка с гидроструйными и центробежными насосами для систем вакуумирования конденсаторов паровых турбин К-300-240ЛМЗ Кармановской ГРЭС. Ожидается, что потребление воды и электроэнергии будет на (25..30)% ниже, чем у существующих на ГРЭС водоструйных установок этого типа.

Апробации работы и публикации. Материалы работы обсуждались на ежегодных научно-технических конференциях Южно-Уральского государственного университета в 1997–1999 гг.; на XVIII Российской школе по проблемам проектирования неоднородных конструкций 22–24 июня 1999 г. (Миасс, МНУЦ); на региональной конференции "Аэрокосмическая техника и высокие технологии" 12–14 апреля 2000 г. (Пермь, ПГТУ); на международных конференциях "Гидравлические машины, гидропривод и гидропневматика" 9–10 декабря 1998 г. (Москва, МЭИ);

"Гидромеханика, гидромашины, гидропривод и гидропневмавтоматика" 26 - 27 октября 1999 г. (Челябинск, ЮУрГУ).

По результатам выполненных исследований опубликовано шесть печатных работ, получен патент на изобретение, материалы диссертационной работы изложены также в двух научно - технических отчетах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка литературы и приложения, изложена на 154 страницах машинописного текста, включая 46 рисунков, 3 таблицы и список литературы из 137 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обозначено направление научных исследований кафедры гидравлики и гидропневмосистем ЮУрГУ, в рамках которого выполнена данная диссертационная работа, приводится краткое содержание глав диссертации.

Глава I. Состояние вопроса

Многофазные системы в настоящее время широко применяются в важнейших отраслях народного хозяйства – химической, нефтегазовой и пищевой промышленности, в энергетике, металлургии. Выполняя функции, определяемые спецификой конкретного производства, такие системы применяются и для интенсификации различных технологических процессов. Об этом свидетельствует развитие технологий, связанных с протеканием процессов в динамическом пленном и псевдоожиженному (взвешенному) слоях. Некоторые процессы в энергетике, а также большинство процессов в металлургии и химической промышленности основаны на использовании многофазных систем и связаны с поверхностными физическими явлениями и гетерогенными химическими реакциями. Существенную роль в них играют энергообмен, диффузия исходных веществ и продуктов реакции относительно контактных границ, конвекция, массо- и теплопередача в рабочем объеме аппарата, обусловленные гидрогазодинамическими процессами, протекающим в данной системе.

Для эффективной реализации такого комплекса процессов широко применяют аппараты струйного типа, что обусловлено рядом преимуществ, позволяющих использовать струйные установки в длительном режиме работы на ответственных и (или) труднодоступных технологических участках.

Прежде всего, это максимальная простота и надежность конструкции. Сравнительная легкость нанесения покрытий и различных футеровок проточной части вместе с возможностью обеспечения абсолютной (в

пределах проницаемости конструкционного материала) герметичности делают струйные аппараты незаменимыми при работе с токсичными, агрессивными или сильно загрязненными средами. Развитая поверхность контакта фаз, способствующая интенсивному тепло- и массообмену, позволяет использовать установки струйного типа в качестве различного рода реакторов и обменных аппаратов.

Область применения струйных аппаратов постоянно расширяется. При этом возникают разнообразные комбинации взаимодействующих компонентов. На рис.1 показаны группы аппаратов струйного типа, объединенные по принципу фазового состояния сред, участвующих в рабочем процессе. Насосы, эжектирующие газожидкостные смеси, на схеме условно обозначены как ЖГЖ-насос (жидкость-газ-жидкость). Приведем некоторые примеры практического использования таких устройств. Многие процессы химической технологии требуют получения насыщенных водных растворов газов (чаще всего воздуха). Так, при флотационном обогащении полезных ископаемых или очистке сточных нефтесодержащих вод сначала насышают жидкость воздухом, а затем осуществляют обратный процесс выделения газа в виде мелкодисперсных пузырьков. Для повышения эффективности процесса растворения газа предложены циркуляционные установки с центробежным насосом и струйным аппаратом, эжектирующим смесь газа и жидкости. Другая область использования ЖГЖ-насосов относится к криогенным системам. В настоящее время в машиностроении, металлургии, энергетике, пищевой промышленности, ракетно-космической технике, сельском хозяйстве и др. широко используются жидкие криогенные продукты. Так, жидкие кислород и водород применяют в качестве компонентов ракетных топлив, жидкий гелий – для охлаждения и криостатирования различных сверхпроводящих устройств, жидкий водород используется в бортовых электромагнитических генераторах систем энергоснабжения космических аппаратов и т.д. Струйные насосы, используемые в системах криостатирования, могут работать в режиме ЖГЖ-насоса по причине частичного испарения жидкого продукта.

Во многих случаях применение струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой позволяет существенно упростить систему и повысить ее надежность, отказавшись от использования разделителя сред (сепаратора). В наибольшей степени это относится к различным вакуумным системам водопонижения грунтов с помощью иглофильтров, двухступенчатым системам вакуумирования конденсаторов паровых турбин и др.

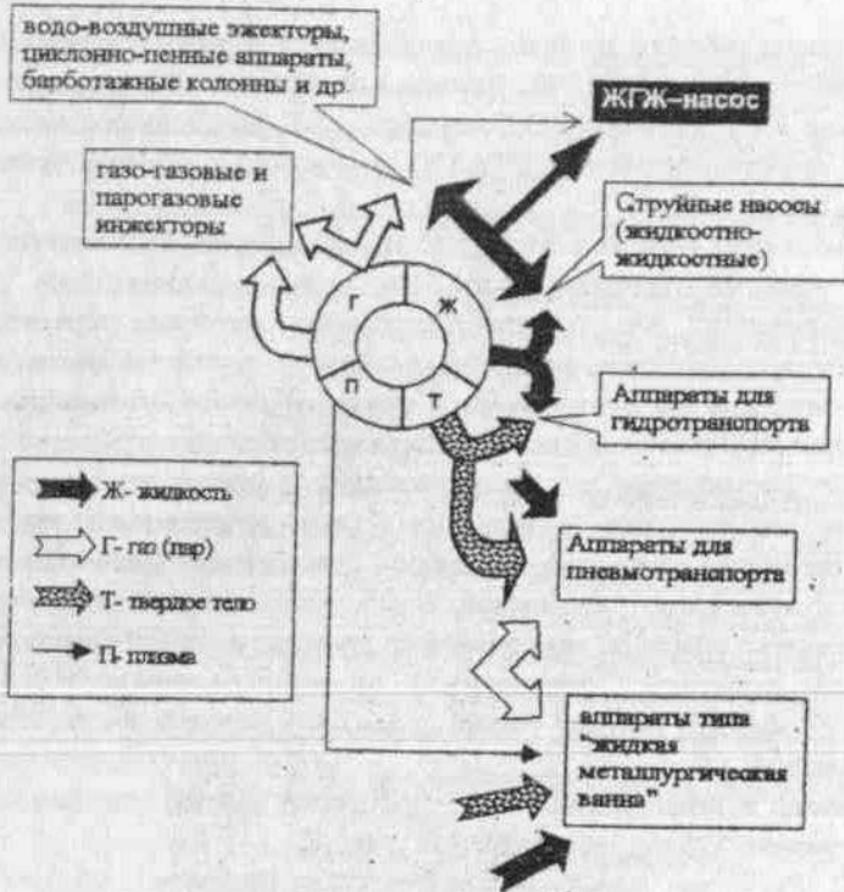


Рис. 1. Аппараты струйного типа

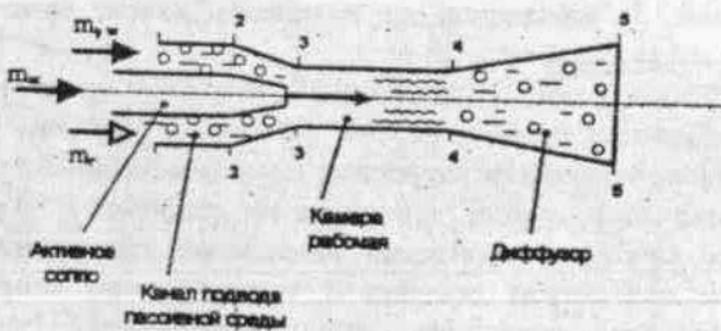


Рис. 2. Принципиальная схема струйного аппарата с газожидкостной эжектируемой средой

Исследованию рабочего процесса разновидностей струйных аппаратов посвящены работы Абрамовича Г.Н., Лямасса Б.Ф., Соколова Е.Я. и Зингера Н.М., Васильева Ю.Н., J.H.Witte, R.J.Cunningham, В.Г. Цегельского, а также сотрудников кафедры гидравлики ЮУрГУ Темнова В.К., Ложкова Е.Ф., Спиридонова Е.К.

Анализ состояния вопроса показал, что на сегодняшний день наиболее изученными являются однофазные струйные аппараты (газо-газовые и жидкостно-жидкостные). При расчетах гетерофазных струйных устройств (жидкостно-газовых эжекторов, аппаратов для гидро- и пневмотранспорта и др.) широко используются эмпирические и полуэмпирические зависимости. Что же касается струйных аппаратов, эжектирующих газожидкостные среды, то каких-либо рекомендаций по проектированию, а тем более методов расчета таких насосов (даже эмпирических), ни в отечественной, ни в зарубежной литературе обнаружить не удалось. Это в значительной степени сдерживает их эффективное применение. А если принять во внимание, что струйные аппараты работают непрерывно и длительное время, то даже незначительное повышение эффективности их работы дает оптимальный экономический эффект, поэтому задача разработки методов их расчета является актуальной.

Цель работы и поставленные для достижения данной цели задачи приведены в разделе "Общая характеристика работы".

Глава II. Расчетная модель и характеристики аппарата.

Принципиальная схема струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой (СНГЖЭС) с центральным подводом высоконапорной жидкости представлена на рис.2. Конструкция насоса включает в себя активное сопло, канал подвода пассивной среды с приемной камерой и камеру смешения. В зависимости от назначения аппарат может быть выполнен как с диффузором, так и без него.

Работа эжектора состоит в следующем. К активному соплу от насоса (обычно центробежного) подается рабочая жидкость, в результате чего на срезе сопла формируется высокоскоростная струя (или система струй), за счет своих эжекционных свойств увлекающая пассивную среду. В рабочей камере (камере смешения) происходит интенсивный гидромеханический процесс обмена количеством движения и энергией между активным и пассивным потоками, после чего на выходе камеры образуется quasihomогенный газожидкостный поток с выровненной звзорой скорости. Опыт эксплуатации струйных насосов показывает, что наиболее эффективной оказывается работа аппаратов, в которых процесс полного перемешивания сред завершается до выхода из рабочей камеры. В этих

условиях функционирования аппарата не сопровождается повышенной вибрацией, шумом и т.д. Сформированный на выходе смесительной камеры однородный газожидкостный поток поступает в диффузор, где происходит дальнейшее повышение статического давления.

При моделировании рабочего процесса рассматриваемого аппарата были приняты следующие допущения.

1. Двухфазная газожидкостная смесь на входе и выходе эжектора имеет пузырьковую структуру, а концентрационным пределом существования газированной жидкости является граница существования пен, что соответствует кратности $K_p = (W_r + W_s)/W_s = 4$ или объемному газосодержанию $\beta = W_r/(W_r + W_s) = 0,75$.
2. Размеры пузырьков газа значительно меньше поперечных размеров проточной части аппарата, а их число велико, поэтому газожидкостная среда полагается квазигомогенной и изотропной, а процесс изменения ее состояния принимаем изотермическим. Последнее обусловлено высокой теплоемкостью жидкой компоненты и развитой межфазной поверхностью.
3. Газ не вступает в реакцию с жидкостью и не растворяется в ней, а фазовые переходы отсутствуют, что определяется малорастворимым сочетанием жидкости и газа (например, вода + воздух) и малыми перепадами температур и давлений.
4. Газ считается совершенным, жидкость несжимаемой, течение в контрольных сечениях аппарата — одномерное, влияние сил тяжести пренебрежимо мало.

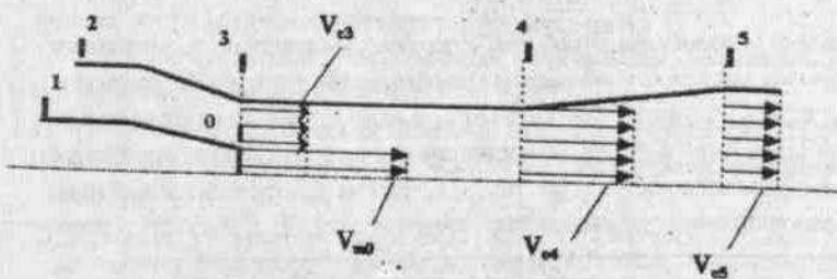


Рис. 3. Кинематическая схема течения в проточной части струйного аппарата

На основе исходной системы уравнений, включющей уравнения изотермического состояния газожидкостной смеси, количества движения для

отсека ограниченного полностью смесительной камеры; балансы массовых расходов и удельных энергий для потоков смеси, активной и пассивной сред, были получены выражения основных характеристик СНГЖЭС в безразмерных параметрах:

$$\varepsilon_{23} \left(1 + \frac{\alpha_{z2}}{\alpha_{\infty}} \ln(\varepsilon_{23}) \right) = 1 + (1 + \mu)(\varepsilon_{12}\varepsilon_{23} - 1) \left\{ (1 + \zeta_{23}) \left[\frac{\Omega_{03}}{1 - \Omega_{03}} (\alpha_{\infty} + \alpha_{z2}\varepsilon_{23}) \right]^2 - [\Omega_{03}\Omega_{32}(\alpha_{\infty} + \alpha_{z2})]^2 \right\}; \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{43} = 0.5 \left[d \pm \sqrt{d^2 - 4\Gamma k \Omega_{03}^2 \delta_{z3} u_z (1 + u_{\infty} + u_z)} \right], \\ d = 1 + \Gamma \Omega_{03} \left[1 + (u_{\infty} + u_z) \frac{\Omega_{03}}{1 - \Omega_{03}} (\delta_{\infty} u_{\infty} + \delta_{z3} u_z) - \right. \\ \left. - k \Omega_{03} (1 + u_{\infty} + u_z) (1 + \delta_{\infty} u_{\infty}) \right]; \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (1 + \delta_{\infty} u_{\infty}) \varepsilon_{53} + \delta_{z3} u_z \ln(\varepsilon_{53} p_3) + \frac{\Gamma}{2} \left(1 + \delta_{\infty} u_{\infty} + \frac{\delta_{z3} u_z}{\varepsilon_{53}} \right)^2 \left(\frac{\Omega_{03}}{\Omega_{54}} \right)^2 \times \\ \times (1 + u_{\infty} + u_z) = (1 + \delta_{\infty} u_{\infty}) \varepsilon_{43} + \delta_{z3} u_z \ln(\varepsilon_{43} p_3) + \frac{\Gamma}{2} \Omega_{03}^2 \times \\ \times \left(1 + \delta_{\infty} u_{\infty} + \frac{\delta_{z3} u_z}{\varepsilon_{43}} \right)^2 (1 + u_{\infty} + u_z) (1 - \zeta_{45}). \end{aligned} \quad (3)$$

Основными параметрами работы аппарата, входящими в уравнения (1)-(3), являются массовые и объемные коэффициенты эжекции по жидкости $U_e = m_e/m_\infty$, $\alpha_e = Q_e/Q_\infty$ и по газу $U_g = m_g/m_\infty$, $\alpha_g = Q_g/Q_\infty$ (рис.2); относительные удельные объемы газа $\delta_g = p_g/p_\infty$ и жидкости $\delta_e = p_e/p_\infty$; степени изменения давления между сечениями i и j (см. рис.3) $\varepsilon_i = p_i/p_\infty$ и относительные площасти $\Omega_i = A_i/A_\infty$; относительное динамическое давление струи $\Gamma = p_\infty V_0^2/p_3$; параметры, учитывающие сопротивление элементов проточной части ζ_{ij} , $k = 1 + \zeta_{ij}/2$.

Анализ уравнения (2) показал, что выражению со знаком "+" перед радикалом отвечают дозвуковые течения смеси на выходе смесительной камеры, а со знаком "-" – сверхзвуковые. Для дальнейшего исследования характеристики было применено второе начало термодинамики. Наложение граничных изоэнтроп на поле характеристик показало, что отрицательный

весь лежит в области отрицательного приращения энтропии. Это позволило сделать вывод о дозвуковом течении смеси на выходе цилиндрической рабочей камеры и в диффузоре струйного аппарата.

В крайних случаях состава экскримируемой среды (при $U_e = 0$ или $U_s = 0$) основная характеристика аппарата (2) сводится к уравнениям характеристик жидкостно-жидкостного струйного насоса и жидкостно-газового экскектора. Параметры, входящие в уравнения безразмерных напорных характеристик, оказывают различное влияние как на динамические показатели работы насоса, так и на форму характеристики. В частности, увеличение относительной площади сопла $\Omega_{03} = A_0/A_3$ приводит к росту степени повышения давления и сужает рабочий диапазон насоса по коэффициенту экскации U_e . Аналогичным образом влияет на характеристику и степень расширения диффузора $\Omega_M = A_M/A_3$. При малых коэффициентах экскации по жидкости снижение относительного удельного объема газа δ , позволяет получить более высокие степени сжатия, а при дальнейшем увеличении U_e (α_e) картина меняется.

Работа СНГЖЭС в области физически осуществимых течений имеет ряд ограничений, связанных с особенностями рабочего процесса, протекающего в рабочем объеме аппарата. Эти ограничения определяют диапазон его функционирования в рамках принятой расчетной модели и включают в себя достижение коэффициента скольжения фаз на входе в рабочую камеру $\psi = V_{c3}/V_b$, близкого единице; режимы запирания пассивного канала (число Маха $M_{c3} = V_{c3}/a_{m3} = 1$) и границу перехода к пленному режиму течения ($K_p = 4$). При этом последнее ограничение является левой границей рабочего диапазона, а правой следует считать меньшее из первых двух (рис. 4).

Глава III. Экспериментальные исследования и расчет струйного аппарата с газожидкостной экскримируемой средой

При подготовке программы проведения экспериментальных исследований ставились следующие основные задачи:

- 1) изучение распределения давления по длине проточной части аппарата на различных режимах с целью выявления характерных особенностей его работы;
- 2) апробация принятой расчетной модели, в также оценка степени соответствия фактических данным результатам расчета по полученной системе базовых характеристик струйного насоса.

Результаты проведенных экспериментов (рис.5а) позволяют сделать следующие заключения:

- 1) на всех режимах наблюдалось достаточно главное повышение давления в смесительной камере без резких скачков; при входе в рабочую камеру

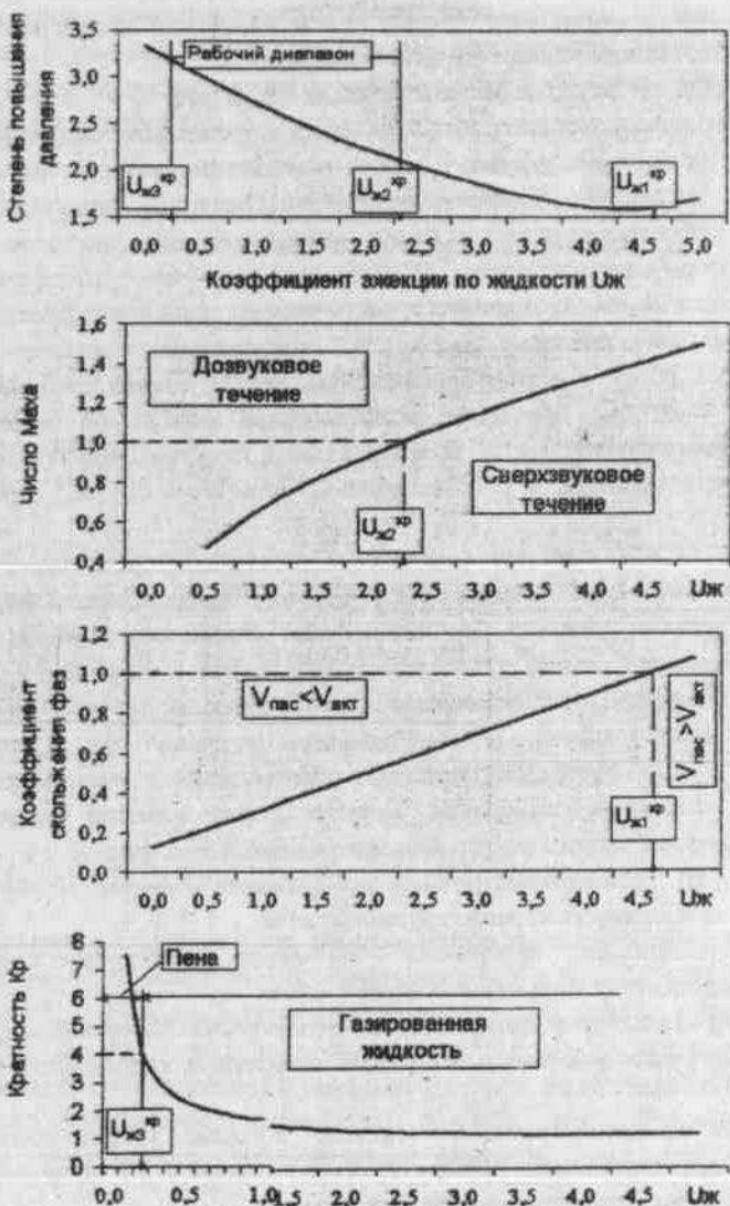
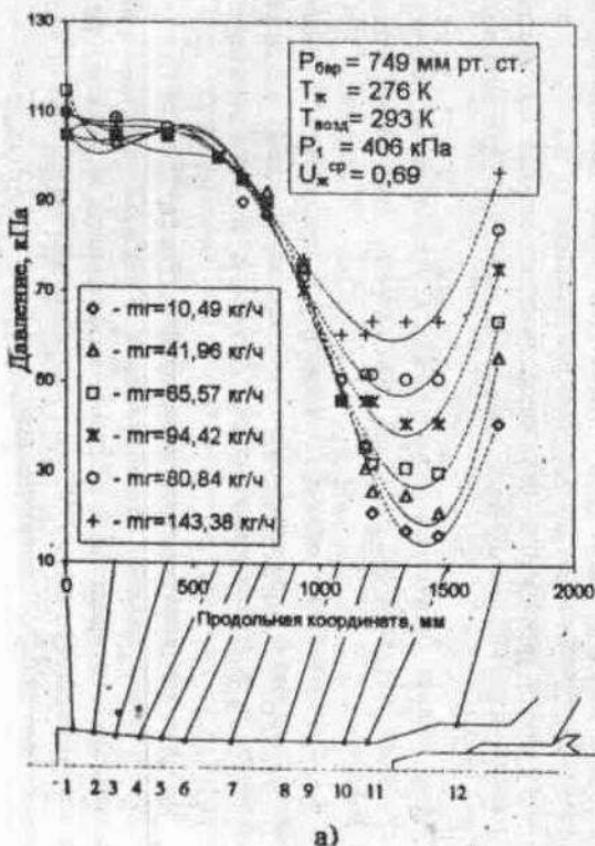


Рис.4

Распределение давления по длине аппарата



Характеристики аппарата

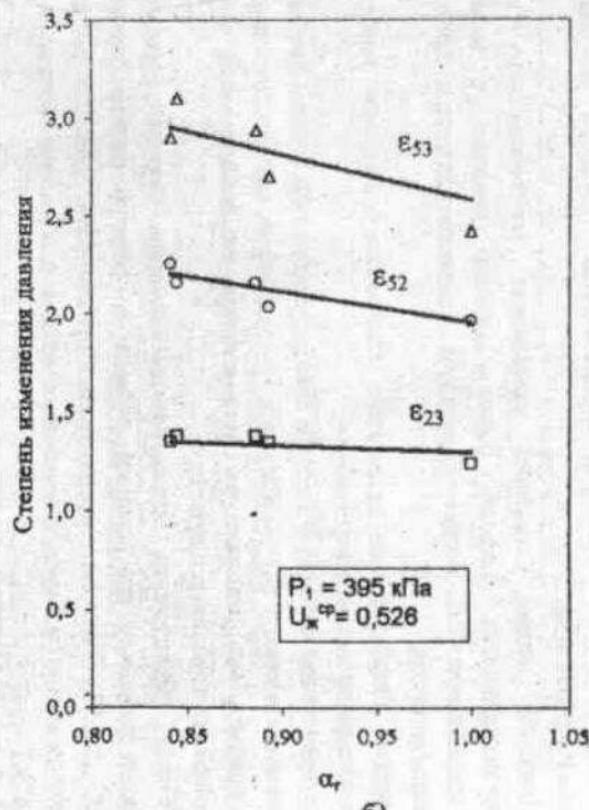


Рис. 5. Результаты эксперимента

- возникли провал давления, обусловленный сужением и разгоном пассивного потока.
- 2) Наиболее низкие давления всасывания соответствовали малым газосодержаниям. Наличие области низкого давления с высокими скоростями потока создает условия для возможного запирания проточной части аппарата;
 - 3) влияние диффузора на повышение статического давления пассивного потока оказалось неизначительным;
 - 4) с увеличением массового расхода эжектируемого газа степень повышения давления аппарата ε_{32} уменьшалась и в некоторых случаях приближалась к единице, что указывает на невозможность его использования на этих режимах в качестве компрессора;

Серия проведенных экспериментов показала хорошее совпадение опытных данных с результатами расчета по базовой системе уравнений (1)-(3) (рис.5б). Этот факт подтверждает правильность принятой расчетной модели и дает основания использовать ее при построении метода расчета СНГЖЭС.

Ввиду того, что на работу рассмотриваемого типа аппаратов влияет большое число различных параметров, задача расчета и проектирования СНГЖЭС является многогранной. При этом большинство возникающих при проектировании задач можно свести к двум основным типам:

- 1) обеспечение максимально-доступных параметров работы струйного насоса (степеней сжатия и коэффициентов эжекции);
- 2) минимизация энергозатрат (например, давления питания или массового расхода активной среды), необходимых для надежного функционирования устройства.

Укрупненная блок-схема расчета СНГЖЭС применительно ко второму типу задач показана на рис.6. В ней приняты следующие условные обозначения:

А – блок начальных данных (плотность ρ и температура T жидкости, газовая постоянная R эжектируемого газа, давление питания p_1 , давление всасывания p_2 и противодавление p_3 , массовые расходы эжектируемых жидкости $m_{ж}$ и газа m_g);

Б – блок определения начальных значений $m_g^{(0)}$ и $\Omega_{03}^{(0)}$.

У – блок условий, ограничивающих возможные режимы работы аппарата. У1 – по предельной величине коэффициента скольжения фаз на входе в смесительную камеру, У2 – по запиранию пассивного канала, У3 – по границе существования ленинго режима.

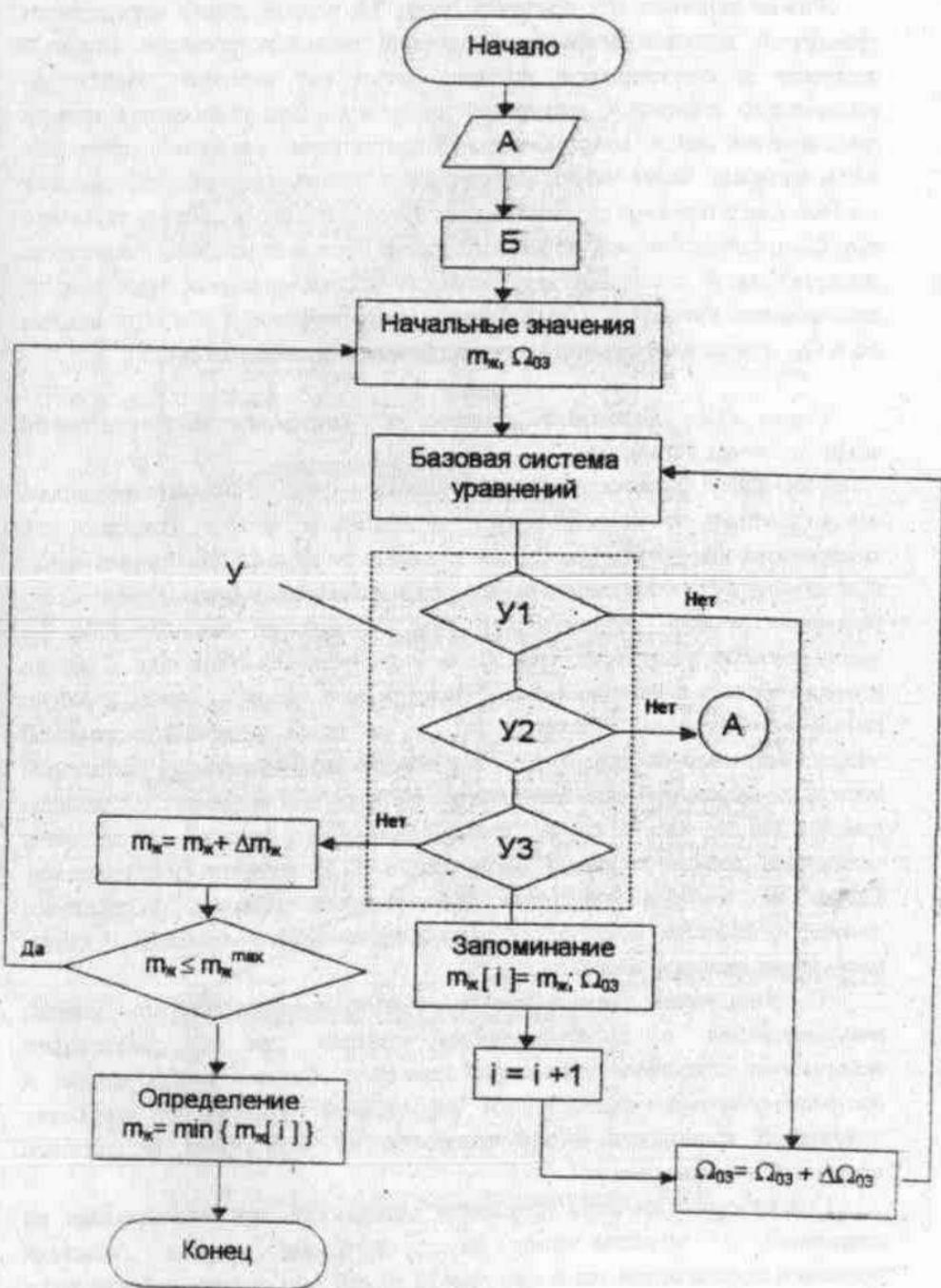


Рис.6

Расчет включает три основных этапа. На первой стадии определяется примерный диапазон возможных значений массовых расходов активной жидкости и относительной ширины сопла (по методике жидкостно-жидкостного аппарата с коррекцией плотности). Это позволяет в первом приближении найти коэффициенты сопротивления элементов проточной части аппарата. Затем на основе базовой системы уравнений ведется поиск минимального значения расхода активной жидкости m_* и соответствующего ему Ω_0 с одновременной проверкой ограничительных условий. Наконец, на заключительной стадии расчета методом последовательных приближений производится уточнение коэффициентов сопротивления, и для оптимальных m_* и Ω_0 определяются основные геометрические размеры аппарата.

Глава IV. Струйные насосы в системах вакуумирования энергетических установок.

Рабочий процесс гидроструйного насоса, эжектирующего газожидкостные смеси, позволяет использовать его в качестве как компрессора или вакуум-насоса, так и смесителя взаимодействующих сред. Для оценки эффективности такого насоса рассмотрен баланс энергии его рабочего процесса, протекающего при температуре жидкости T_0 . На энергетической диаграмме (рис.7) в виде областей показаны: работа изотермического сжатия компонент эжектируемой смеси $A_{\text{изо.}}$ и $A_{\text{изо.}''}$, работа расширения активной жидкости $A_{\text{расш.}}$, а также величина остаточной энергии активной жидкости $E_{\text{ост.}}$. На основе этой диаграммы составлены несколько выражений для определения КПД рассматриваемого устройства (рис.8). Видно, что в случае совмещения обеих функций используется остаточная энергия активной жидкости, и КПД аппарата увеличивается. Одним из способов повышения эффективности аппарата, работающего только в качестве компрессора или вакуум-насоса, является создание циркуляции активной жидкости.

С точки зрения энергопотребления оптимальными являются системы вакуумирования с двухступенчатым сжатием газа и сравнительно небольшими степенями повышения давления. Однако предложенные к настоящему времени схемы имеют значительные габариты при невысоких показателях надежности и эффективности, что сдерживает их широкое промышленное применение.

Существенно повысить показатели надежности при уменьшенных по сравнению с существующими двухступенчатыми схемами габаритах позволяет предлагаемая установка (рис.9). В ней обе ступени объединены в общем корпусе с питанием от одного источника активной жидкости, что

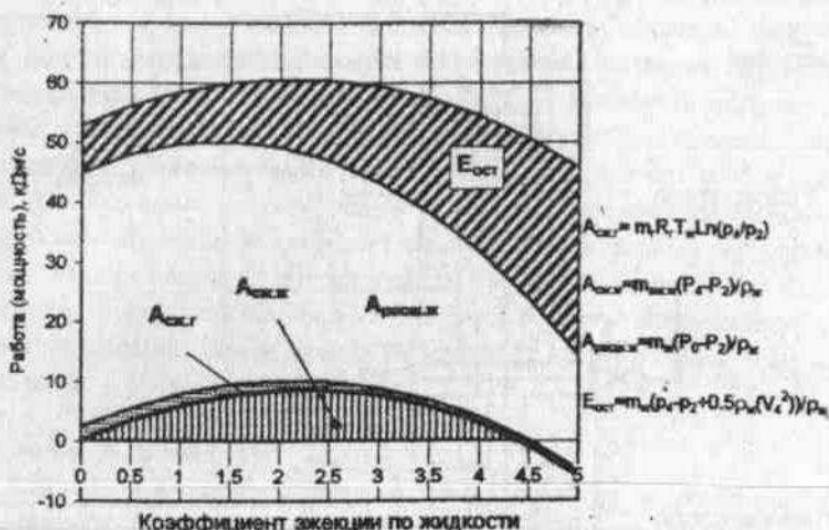


Рис. 7. Энергетическая диаграмма

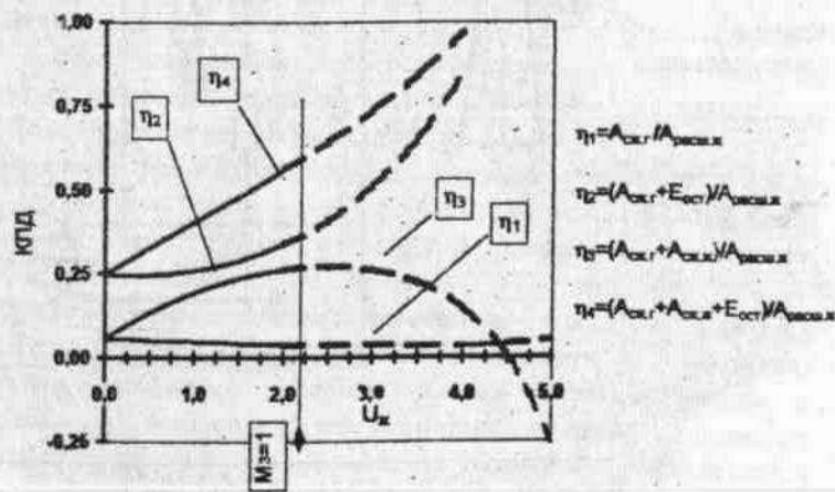


Рис. 8. График изменения изотермического КПД

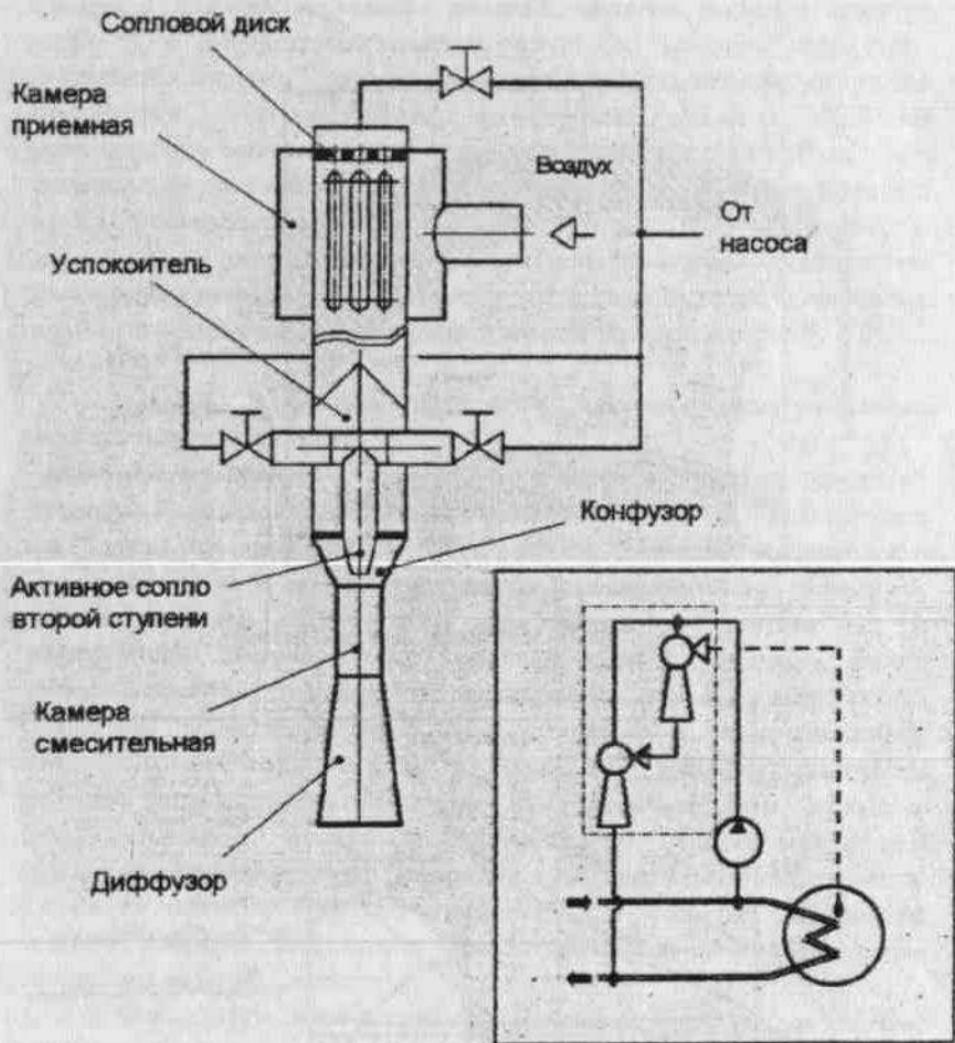


Рис. 9. Принципиальная схема звукогенератора с двухступенчатым сжатием газа и система его включения в систему вакуумирования.

позволяет снизить потери энергии между ступенями. В такой конструкции вторая ступень представляет собой струйный насос, эжектирующий газожидкостную смесь с выхода жидкостногазового эжектора первой ступени. Для расширения возможностей регулирования установка снабжена дросселями, расположенными в каналах подвода активной жидкости. Снабжение соши питания второй ступени радиальными продольными центрирующими ребрами (усложителем), расположенными по всей длине соши и выступающими за ее пределы в камеру смещения со стороны подвода пассивной среды, обеспечивает соосность соши питания горловине проточной части аппарата, инициирует более ранний распад струй и формирование однородной газожидкостной смеси в прыжке перемешивания, удерживая последний силами трения в концевой части рабочей камеры первой ступени.

Основные выводы

1. Многофазные системы широко распространены в современной промышленности. Большая удельная поверхность таких систем способствует интенсивному протеканию в них обменных процессов, что существенно увеличивает их производительность.
2. Широкое применение в многофазных системах получили струйные аппараты, которые отличаются большим разнообразием. При этом область их использования постоянно расширяется, а требования к точности и достоверности расчетных моделей повышаются.
3. Существует целый класс многофазных технологических процессов, в которых необходимо применение струйных насосов, эжектирующих газожидкостные смеси. Однако их широкое применение сдерживается отсутствием методов расчета и проектирования.
4. Физико-математическая модель рабочего процесса струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой, основанная на уравнениях неразрывности, количества движения, баланса удельных энергий и изотермического состояния газожидкостной среды, позволяет проанализировать рабочий процесс аппарата, получить характеристики и разработать метод его расчета. Подтверждением правильности выбора расчетной модели служат удовлетворительное согласие результатов расчета с экспериментом, а также совпадение характеристик исследуемого аппарата с аналогичными характеристиками жидкостно-жидкостного и жидкостно-газового эжекторов при отсутствии в эжектируемой среде газовой и жидкостной фаз соответственно.

5. При степенных повышениях давления, превышающих единицу, физически осуществимыми являются лишь дозвуковые течения газожидкостной смеси на выходе камеры смещения и в диффузоре струйного насоса. Вместе с тем, особенности эжектируемой среды и рабочего процесса в струйном насосе налагают ограничения на его функционирование, которые включают в себя, во-первых, достижение коэффициентом скольжения фаз на входе в камеру смещения значений близких единице, во-вторых, запирание канала подвода газированной среды, и в-третьих, переход к пению режиму эжектируемой газожидкостной смеси.

6. Основными режимными и геометрическими параметрами аппарата, существенно влияющими на его степень повышения давления, являются коэффициенты эжекции по жидкости U_x и по газу U_y , относительный удельный объем газовой фазы δ , относительная площадь сопла Ω_{03} и степень расширения диффузора Ω_{04} . Причем увеличение степени расширения диффузора Ω_{04} и относительной площади сопла Ω_{03} приводит к росту достижимой степени повышения давления ε_{52} , а увеличение коэффициента эжекции по жидкости U_x вызывает ее снижение. Влияние коэффициента эжекции по газу оказывается неоднозначным: при малых U_y большим значением U_y соответствуют меньшие значения степени повышения давления ε_{52} , а с увеличением U_y картина постепенно меняется на противоположную.

7. Рабочий процесс струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой позволяет использовать его в качестве как гидрокомпрессора, так и смесителя взаимодействующих сред. Наибольшая эффективность аппарата достигается при совмещении этих функций, когда используется остаточная энергия активной среды. При выборе выражения для КПД конкретного струйного насоса следует учитывать как функциональное назначение устройства, так и общую компоновку системы. Одним из способов повышения эффективности вакуумных систем со струйными насосами является организация циркуляции активной жидкости.

Содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Гончарова Н.П., Подзирко А.В., Спиридонов Е.К. Анализ рабочего процесса струйного насоса с газожидкостной эжектируемой средой // Гидравлические машины, гидропривод и гидропневматика: Тезисы докладов международной научно-технической конференции. 9-10 декабря 1998 г., Москва — М: Изд. МЭИ. 1998 — С. 20.

2. Спиридонов Е.К., Подзирко А.В. Энергетические характеристики процесса эжектирования газожидкостных сред в струйном аппарате // Гидравлика и гидропневмосистемы. Об. докл. 50-й юбилейной научно-

технической конференции 14-16 апреля 1998г. — Челябинск Изд. ЮУрГУ, 1998 — С.111-114

3. Спиридов Е.К., Подзирко А.В. Новый струйный насос для систем вакуумирования паротурбинных установок // Там же.—С.115-117

4. Спиридов Е.К., Подзирко А.В. К расчету режимов запирания каналов с газожидкостным потоком // Тез. докладов XVIII Российской школы по проблемам проектирования неоднородных конструкций. — Минск: МНУЦ, 1999.—С.77

5. Подзирко А.В., Спиридов Е.К. К расчету эффективности струйных аппаратов с газожидкостной эжектируемой средой // Гидромеханика, гидромашини, гидропривод и гидропневмавтоматика: Об. докладов Международной научно-технической конференции, посвященной сорокалетию кафедры "Гидравлика и гидропневмосистемы" Южно-Уральского государственного университета — Челябинск Изд. ЮУрГУ, 1999.—С.27-30

6. Спиридов Е.К., Подзирко А.В., Анисимова Н.В. Алгоритм расчета гидроструйного насоса, эжектирующего газожидкостные среды// Аэрокосмическая техника и высокие технологии-2000: Тезисы докладов Всероссийской научно-технической конференции. — Пермь: Изд. ПГТУ, 2000.— С.200

7. Спиридов Е.К., Подзирко А.В., Густов С.И., Боковиков В.С. Хуснутдинов Н.В. Жидкостно-газовый эжектор // Патент RU №2132003 МКИ 6 F 04 F 5/04. — Опубл. 20.06.99.—Бюл №17.

Полозко Александр Викторович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ СТРУЙНОГО НАСОСА
С ГАЗОЖИДКОСТНОЙ ЭЖЕКТИРУЕМОЙ СРЕДОЙ**

Специальность 05.04.13 - "Гидравлические машины
и гидропневмоагрегаты"

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Издательство Южно-Уральского государственного
университета

ИД № 00200 от 29.09.99. Подписано в печать 11.05.2000. Формат
60*84 1/16. Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 1.
Тираж 80 экз. Заказ 226 / 204.

УОПИ Издательства 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.