ЭФФЕКТИВНАЯ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Струйные насосы, инжекторы и гидроэлеваторы ООО «Химмаш-Аппарат» для ТЭК

ООО «ХИММАШ-АППАРАТ» ЯВЛЯЕТСЯ ВЕДУЩЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ИНЖИНИРИНГОВОЙ КОМПАНИЕЙ РОССИИ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩЕЙ ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПРОИЗВОДСТВО И ПОСТАВКУ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ, НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И АТОМНОЙ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

LLC "HIMMASH-APPARAT" IS THE LEADING INDUSTRIAL ENGINEERING COMPANY IN RUSSIA, PROVIDES DESIGN, MANUFACTURE AND SUPPLY OF HIGH-PERFORMANCE EQUIPMENT FOR OIL AND GAS, PETROCHEMICAL, POWER AND NUCLEAR INDUSTRIES

Ключевые слова: *емкостное оборудование; струйные насосы; теплообменное оборудование; колонное, фильтрационное, станочное оборудование, инжекторы, гидроэлеваторы, проектирование, строительно-монтажные работы, пуско-наладочные работы, математическое моделирование.*

Агауров Сергей Юрьевич,
генеральный директор ООО «Химмаш-Аппарат»

ООО «Химмаш-Аппарат» поставляет емкостное, колонное, фильтрационное, станочное, массо- и теплообменное, перемешивающее оборудование, оборудование по чертежам, оборудование в блочно-модульном исполнении.

Отдельным направлением деятельности является разработка и поставка струйных насосов, инжекторов и гидроэлеваторов.

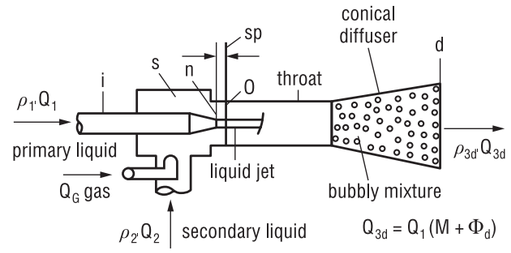
ООО «Химмаш-Аппарат» имеет большой опыт проектирования широкого спектра данного оборудования с использованием метода математического моделирования, с последующим его изготовлением и поставкой заказчику.

Оборудование, разрабатываемое ООО «Химмаш-Аппарат» обладает целым рядом преимуществ, значительно повышающих эффективность их применения в определенных условиях. Например, объединение функций перекачивания и одновременного смешивания сред; интенсификация теплообмена, отсос агрессивных газов. Также данное оборудование можно использовать в качестве насосов-дозаторов, например, при нейтрализации стоков.

Кроме функциональных особенностей, данные устройства конструктивно очень простые, не имеют движущихся частей и не требуют особого ухода в процессе эксплуатации.

Струйный насос является устройством для перекачки со смешением жидких или газообразных веществ, транспортирования гидросмесей. Действие основано на увлечении нагнетаемого (откачиваемого) вещества

РИС. 1. Схема струйного смесителя



струёй жидкости, пара или газа (соответственно различают жидкоструйные, пароструйные и газоструйные насосы).

Принцип действия струйного насоса состоит в передаче части кинетической энергии активной жидкости перекачиваемой жидкости. Достоинство – простота устройства, небольшие габариты, надёжность работы; отсутствие движущихся частей. Возможность работы с агрессивными средами. Недостаток – низкий КПД.

В расчетах струйных насосов определяющей является связь (характеристическое уравнение) между коэффициентом эжекции M, геометрическими параметрами (основной – b) и приведенным перепадом N.

Характеристическое уравнение струйного насоса, связывающее относительный перепад с эжекцией, геометрией и сопротивлениями участков, имеет вид [1–2]:

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} = \frac{\left[2b + \frac{2\,S\cdot M\cdot b^2}{(1-b)} - b^2(1+K_{t+d}+a^2)(1+M)(1+S\cdot M) - \frac{S\cdot M^2(1+K_{en})}{c^2}\right]}{\left[1+K_n - 2b + \frac{2S\cdot M\cdot b^2}{(1-b)} + b^2(1+K_{t+d}+a^2)(1+M)(1+S\cdot M) + (1-j)\frac{S\cdot M^2(1+K_{en})}{c^2}\right]}$$

В основе проектирования струйных насосов лежит двухуровневая схема. Характеристическое уравнение не является определяющим. Но из него с привлечением дополнительной информации о сопротивлениях участков, ограничении по кавитации и т.д., получаются предварительные габариты изделия. Уточнение, оптимизация и получение окончательных габаритов изделия осуществляется с помощью компьютерного (математического) моделирования (CFD). Этот инструмент является наиболее точным и эффективным.

Исходными параметрами в проектировании являются при требуемой эжекции статические давления на входе в активное сопло, в пассивный ввод и на выходе из диффузора (противодавление). В общем случае противодавление в расчете должно варьироваться. Оно напрямую связано с эжекцией. Т.е. требуется снятие дроссельной характеристики.

Математическое моделирование гидродинамических процессов вообще основано на решении системы нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка (осредненные по Рейнольдсу уравнения Навье-Стокса) [3-5]:

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(r_\alpha \rho_\alpha\right) + \nabla\cdot\left(r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha\right) = \sum_{\beta=1}^{N_p} \Gamma_{\alpha\beta}$$
$$\sum_{\beta=1}^{N_p} r_\alpha = 1 \qquad 1)$$

Уравнение количества движения:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha\right) + \nabla\cdot\left[r_\alpha\left(\rho_\alpha \vec{U}_\alpha \otimes \vec{U}_\alpha\right)\right] =$$
$$= -r_\alpha \nabla p_\alpha + \nabla\cdot\left[r_\alpha \eta_\alpha\left(\nabla\vec{U}_\alpha + \left(\nabla\vec{U}_\alpha\right)^T\right)\right] + \qquad 2)$$
$$+\sum_{\beta=1}^{N_p}\left(\Gamma^+_{\alpha\beta}\vec{U}_\beta - \Gamma^-_{\alpha\beta}\vec{U}_\alpha\right) + S_{M\alpha} + M_\alpha$$

Для турбулентной вязкости $\mu_{t\alpha} = c_\mu \rho_\alpha \left(\frac{k_\alpha^2}{\varepsilon_\alpha}\right)$ имеем уравнение для k_α

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(r_\alpha \rho_\alpha k_\alpha\right) + \nabla\cdot\left\{r_\alpha\left[\rho_\alpha \vec{U}_\alpha k_\alpha - \left(\mu + \frac{\mu_{t\alpha}}{\sigma_k}\right)\nabla k_\alpha\right]\right\} =$$
$$r_\alpha\left(P_\alpha - \rho_\alpha \varepsilon_\alpha\right) + T^{(k)}_{\alpha\beta} \qquad 3)$$

и уравнение ε_α

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(r_\alpha \rho_\alpha \varepsilon_\alpha\right) + \nabla\cdot\left[r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha \varepsilon_\alpha - \left(\mu + \frac{\mu_{t\alpha}}{\sigma_k}\right)\nabla \varepsilon_\alpha\right] =$$
$$= r_\alpha \frac{\varepsilon_\alpha}{k_\alpha}\left(C_{\varepsilon 1} P_\alpha - C_{\varepsilon 2}\rho_\alpha \varepsilon_\alpha\right) + T^{(\varepsilon)}_{\alpha\beta} \qquad 4)$$

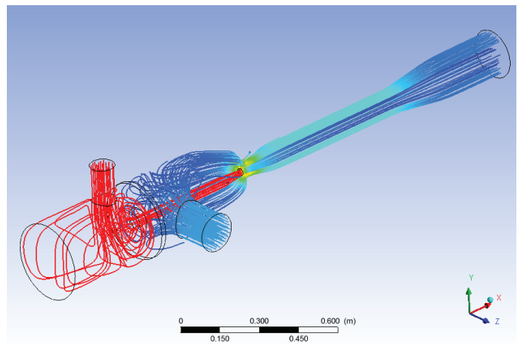
Система уравнений замыкается **уравнением энергии:**

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(r_\alpha \rho_\alpha h_\alpha\right) - r\frac{\partial p}{\partial t}_\alpha + \nabla\cdot\left(r_\alpha \rho_\alpha \vec{U}_\alpha h_\alpha\right) = \nabla\cdot\left(r_\alpha \lambda_\alpha \nabla T_\alpha\right) +$$
$$+ r_\alpha \nabla\cdot\left(\vec{U}_\alpha \cdot \tau_\alpha\right) + S_{E\alpha} + Q_\alpha + \sum_{\beta=1}^{N_p}\left(\Gamma^+_{\alpha\beta} h_\beta - \Gamma^+_{\alpha\beta} h_\alpha\right) \qquad 5)$$

Численные алгоритмы приближенного решения данных уравнений основаны на методе контрольного объема. В расчете использовался инструмент моделирования – пакет прикладных программ OPENFOAM l.t.d.

На рис. 2 приведен пример оптимизации гидродинамики струйного насоса с помощью математического моделирования.

РИС. 2



Компания «Химмаш-Аппарат» готова к сотрудничеству с проектными институтами, машиностроительными заводами, перерабатывающими и добывающими предприятиями, в реализации собственных разработок и технических решений в области проектирования и поставки высокоэффективных технических устройств.

Собственные проектный и конструкторский отделы позволяют предложить готовое решение под каждую конкретную задачу, а также разработать уникальное решение в случае нестандартных ситуаций.

Приобретая струйные насосы, инжекторы и гидроэлеваторы у ООО «Химмаш-Аппарат», наши клиенты уверены, что получат высококачественное оборудование, разработанное под их конкретные задачи, по разумным ценам с выдерживанием минимальных сроков поставки!

Каждый проект реализуется индивидуально, с учетом требований и пожеланий Заказчика, оптимизации технико-экономических и эксплуатационных показателей поставляемых единиц оборудования и всего технологического процесса в целом.

Key words: *tanks; jet pumps; heat exchangers; columns, filtration, machine tool equipment, injectors, hydraulic elevator, design, construction and installation work, commissioning work, mathematical modeling.*

ХИММАШ АППАРАТ

Заказать струйные насосы, инжекторы и гидроэлеваторы можно по телефонам компании ООО «Химмаш-Аппарат» (495) 956-62-31, (495) 669-93-35 или отправив письмо-запрос с техническими характеристиками на адрес **info@him-apparat.ru**

ПРИЛОЖЕНИЕ

Условные обозначения:

$P_s = P_2$ – статическое давление во всасывающем патрубке,

$P_i = P_1$ – статическое давление на входе в сопло струйного насоса,

$P_d = P_3$ – статическое давление на выходе из диффузора струйного насоса,

$p_i - p_s$ – располагаемый перепад перед струйным насосом

$N = \frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} = \frac{p_d - p_s}{p_i - p_d}$ – относительный перепад

Коэффициент эжекции $M = \frac{G_H}{G_p}$,

$\eta = \frac{Q_2(P_d - P_s)}{Q_1(P_i - P_d)}$ – к.п.д. струйного насоса

$A_n = d_c$ – диаметр выходного участка сопла,

$A_{th} = d_r$ – диаметр камеры смешения (цилиндрический участок)

$b = \frac{A_n}{A_{th}} \quad c = \frac{A_t - A_n}{A_{th}} \quad a = \frac{A_i}{A_d}$

Z – развиваемое динамическое давление эжектирующей (активной) струи,

$\varphi = \frac{1}{\sqrt{N + \xi}}$ – коэффициент скорости участка (x-сопротивление участка, N – коэффициент кинетической энергии) $\xi = \frac{P_{tot_1} - P_{tot_2}}{(\rho w^2 / 2)}$,

P_{tot} – полное давление в рассматриваемом сечении

$f_{1\text{-}4}$ – коэффициенты скорости рабочего сопла, камеры смешения, диффузора и входного участка камеры смешения

$S = \mathbf{r_2} / \mathbf{r_1}$,

K – гидравлическое сопротивление участка,

K_n – гидравлическое сопротивление сопла,

K_{en} – гидравлическое сопротивление входного участка камеры смешения до начала цилиндрической части,

K_{th} – гидравлическое сопротивление камеры смешения до начала диффузора,

K_{di} – гидравлическое сопротивление камеры смешения до начала диффузора,

K_{t+d} – гидравлическое сопротивление входного участка камеры смешения до начала цилиндрической части

Примечание к уравнениям 1-4):

– фазы нумеруются индексами с греческими буквами;

– $\Gamma_{\alpha\beta}$ – массовый расход (перенос) на единицу объема от фазы α к фазе β;

– $\vec{U}_\alpha$ – скорость фазы;

– r_α – объемная доля фазы;

– ρ_α – плотность фазы;

– $p_a = p$ (статическое давление) для всех фаз
$\alpha = 1,2 \ldots N_p$;

– $\vec{U}_\alpha \otimes \vec{U}_\alpha$ – тензорное произведение векторов;

– $S_{M\alpha}$ – источниковый член, учитывающий силы от внешних тел;

– M_α – описывает межфазные силы, действующие на фазу α из-за присутствия других фаз.