

Расчет основных параметров роторного импульсного аппарата радиального типа

Роторные импульсные аппараты (РИА) применяют для получения стабильных высокодисперсных эмульсий и суспензий, интенсификации процессов растворения и экстрагирования веществ, изменения физико-химических параметров жидкости, деструкции молекулярных соединений путем многофакторного импульсного воздействия на системы *жидкость — жидкость*, *жидкость — твердое тело* и *газ — жидкость*, включающего:

- механическое воздействие на частицы гетерогенной среды (ударные, срезающие и истирающие нагрузки и контакты с рабочими частями РИА);

- гидродинамическое воздействие (большие сдвиговые напряжения в жидкости, развитая турбулентность, пульсации давления и скорости потока жидкости);

- гидроакустическое воздействие на жидкость (мелкомасштабные пульсации давления, интенсивная кавитация, ударные волны и нелинейные акустические эффекты) [1–7].

Одной из основных конструктивных особенностей РИА является исполнение ротора и статора в форме дисков (РИА осевого типа) или цилиндров (РИА радиального типа). В первом случае каналы для прохода жидкости соосны с осью вращения ротора, во втором — находятся в цилиндрических стенках ротора и статора, течение жидкости происходит в радиальном направлении. Преимуществом РИА радиального типа перед РИА осевого типа является создание центробежных сил, действующих на жидкость внутри полости ротора.

Типичная схема РИА радиального типа приведена на рис. 1. Принцип работы аппарата заключается в следующем. Обработываемая жидкость подается под давлением или самотеком через входной патрубок в полость ротора, проходит через каналы ротора и статора, рабочую камеру, образованную корпусом и крышкой, и выходит из аппарата через выходной патрубок.

При вращении каналы ротора периодически совмещаются с каналами статора. Если каналы ротора перекрыты стенкой статора, то в полости ротора давление возрастает. При совмещении канала ротора с каналом статора давление за короткий промежуток времени снижается, в результате чего в канале статора возникает импульс избыточного давления. Вслед за ним возникает кратковременный импульс пониженного («отрицательного») давления, так как совмещение каналов ротора и статора завершилось, и подача жидкости в канал статора осуществляется только путем «транзитного» течения из радиального зазора между ротором и статором. Объем жидкости в канале статора стремится к выходу из него и под воздействием

инерционных сил создаются растягивающие напряжения в жидкости, что вызывает кавитацию. Кавитационные пузырьки растут при понижении давления до давления насыщенных паров обрабатываемой жидкости при данной температуре и схлопываются или пульсируют при увеличении давления в канале статора.

При расчете РИА необходимо различать две задачи: расчет и проектирование универсального аппарата, предназначенного для проведения гидромеханических и тепломассообменных процессов в жидких средах; расчет и проектирование аппарата, предназначенного для конкретного технологического процесса. При решении первой задачи учитывают критерии технической и технологической эффективности и при прочих равных условиях минимизируют затраты на изготовление аппарата. При решении второй задачи учитывают экономические критерии, например, срок окупаемости капитальных вложений и чистый дисконтированный доход.

Универсальные РИА обычно применяют в малотоннажном производстве с широкой номенклатурой производимого продукта и для решения исследовательских задач. В крупном промышленном производстве, а также, когда экономически оправдано применение аппарата для проведения какого-то одного технологического процесса, применяют специально спроектированный РИА.

При проектировании универсальных РИА расчет выполняют по критерию наибольшего воздействия на обрабатываемую среду при наименьших энергозатратах

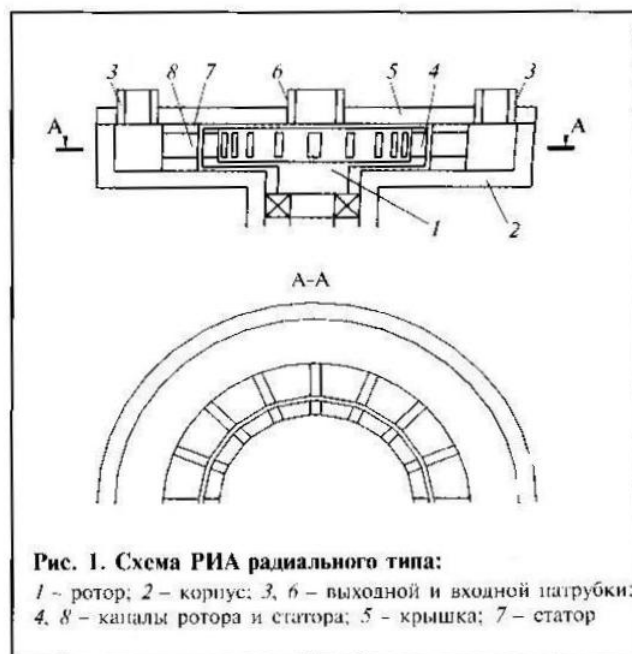


Рис. 1. Схема РИА радиального типа:

1 — ротор; 2 — корпус; 3, 6 — выходной и входной патрубки; 4, 8 — каналы ротора и статора; 5 — крышка; 7 — статор

и заданной производительности. В качестве параметра, определяющего степень воздействия на обрабатываемую жидкость, принимали амплитуду импульса давления, генерируемого в канал статора [2]:

$$p_n(t) = \rho \frac{dv}{dt} \left(\frac{S_0}{2\pi} \right)^{0.5},$$

где ρ — плотность жидкости, кг/м³; v — скорость жидкости в канале статора, м/с; $S_0 = a_c h_c$; a_c , h_c — ширина и высота канала статора, м; t — текущее время.

Математическая модель, достаточно полно отражающая основные закономерности нестационарных гидромеханических процессов в канале статора РИА, базируется на нестационарном уравнении Бернулли [1, 2]:

$$\beta l \frac{dv}{dt} + \lambda(t) \frac{lv^2(t)}{2d_s} + \xi(t) \frac{v^2(t)}{2} + \frac{B(t)vv(t)}{2d_s} = \frac{\Delta p}{\rho}, \quad (1)$$

где β — коэффициент количества движения потока жидкости через прерыватель; $l = l_c + \delta + l_p$ — длина прерывателя, м; l_c , l_p — длина каналов статора и ротора, м; δ — зазор между ротором и статором, м; v — средняя по сечению канала статора скорость потока жидкости, м/с; $\lambda(t)$ — коэффициент гидравлического сопротивления трения; d_s — эквивалентный диаметр канала статора, м; $\xi(t)$ — суммарный коэффициент местного гидравлического сопротивления; $B(t)$ — коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий потери напора, линейно зависящие от скорости потока; ν — кинематическая вязкость жидкости, м/с²; $\Delta p = p_p - p_c$ — общий перепад давления между полостью ротора и камерой статора, Па; p_p — давление в полости ротора, Па; p_c — давление в камере статора, Па.

Уравнение (1) позволяет определить скорость $v(t)$, ускорение dv/dt . Затем определяют расход $Q(t)$ жидкости и амплитуду импульсов давления $p_n(t)$. Методы решения уравнения (1) приведены в работах [1, 2].

Методики расчета параметров РИА рассмотрены в работах [1–9]. Для учета экономических критериев расчета параметров РИА рассмотрим от чего зависят основные капитальные затраты на изготовление и эксплуатационные затраты на функционирование аппарата. Капитальные затраты зависят в основном от геометрических параметров РИА, точности изготовления и сборки, стоимости материала, комплектующих изделий и т.д. Стоимость материала и комплектующих изделий при оптимизации не учитывают. Основными параметрами, от которых зависят габаритные размеры аппарата и его элементов, являются внешний радиус ротора R_p , длина канала статора l_c , радиус рабочей камеры R_k , высота каналов ротора h_p , статора h_c и рабочей камеры h_k . Точность изготовления и сборки зависит от точности изготовления каждой детали, соблюдения основных геометрических размеров аппарата, а также зазора между ротором и статором δ .

Эксплуатационные затраты при эффективном функционировании аппарата зависят в основном от потребляемой электроэнергии и энергии, расходуемой на подачу в РИА жидкости под давлением. Текущие

технологические и ремонтные затраты в расчете не учитывают. Таким образом, для минимизации капитальных и эксплуатационных затрат следует оптимизировать мощность РИА N , расход жидкости Q и амплитуду импульсов давления $p_n(t)$: минимизировать мощность, максимально увеличить амплитуду импульсов давления и выдерживать расход жидкости не менее заданного.

Расход жидкости через каналы ротора и статора за один цикл их совмещения

$$Q_1 = \frac{1}{\tau} \left(\int_0^{\tau} Q(t) dt \right); \quad Q(t) = v(t)S(t),$$

где τ — время совмещения канала ротора с каналом статора.

Расход жидкости через один канал статора при «транзитном» течении жидкости через зазор между ротором и статором

$$Q_2 = \frac{1}{T - \tau} \left(\int_{\tau}^T Q(t) dt \right),$$

где T — время цикла перехода канала ротора от одного канала статора к последующему.

Общий расход жидкости через каналы статора

$$Q_{\text{полн}} = Q_{\text{ср}} z^2 n \cdot 60,$$

где $Q_{\text{ср}} = Q_1 + Q_2$; z — число каналов статора; n — частота вращения ротора.

Для учета центробежной силы и вязкости жидкости в полости ротора при расчете расхода жидкости через РИА вводят поправочную функцию $f(\omega R_p, \mu)$:

$$Q = Q_{\text{полн}} + f(\omega R_p, \mu), \quad (2)$$

где ω — угловая скорость ротора; μ — динамическая вязкость жидкости.

На основании экспериментальных исследований влияния параметров ω , μ и R_p на расход жидкости определен вид поправочной функции

$$f(\omega R_p, \mu) = 3,5 \cdot 10^{-4} \omega R_p^3 - 0,02 \omega R_p^2 + 0,25 \omega R_p + 3d_{1,2};$$

$$d_1 = 1 \quad (\mu = 0,001 \div 0,03 \text{ Па} \cdot \text{с});$$

$$d_2 = 0,1 \quad (\mu = 0,031 \div 0,07 \text{ Па} \cdot \text{с}).$$

Согласно методу расчета мощности N [5]:

$$N = A \text{Re}^{-B} \left(\frac{\delta}{R_p} \right)^{0.2} \left(\frac{az}{R_p} \right)^{0.7} \omega^3 R_p^4 h_p, \quad (3)$$

где $A = av$; $\text{Re} = \omega R_p^2 / \nu$; $B = bv$; a , b — эмпирические коэффициенты.

На основании результатов расчета по формуле (3) при сопоставлении их с экспериментальными данными получены значения эмпирических коэффициентов:

— для маловязких жидкостей ($\mu = 0,001 \div 0,03 \text{ Па} \cdot \text{с}$) $a = 8,5 \cdot 10^9$, $b = 3,6 \cdot 10^5$;

— для вязких жидкостей ($\mu = 0,031 \div 0,07 \text{ Па} \cdot \text{с}$) $a = 2,24 \cdot 10^{10}$, $b = 1,73 \cdot 10^4$.

Результаты расчетных и экспериментальных исследований расхода жидкости и мощности РИА приведены на рис. 2. Экспериментальные исследования проводили при следующих значениях конструктивных и технологических параметров РИА: $\omega = 50\div 450$ с⁻¹; $R_p = 75\div 125$ мм; $z = 24\div 36$; $h_k = h_c = h_p = 10\div 30$ мм; $p_p = 0,2\div 0,4$ МПа; $p_c = 0,05\div 0,4$ МПа; $\delta = 0,05\div 0,2$ мм; $\mu = 0,001\div 0,07$ Па·с; $\rho = 800\div 1000$ кг/м³.

В качестве модельных жидкостей использовали этанол, воду, растительное масло, мазут.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили адекватность предлагаемой методики расчета.

Список литературы

1. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение, 2001. 260 с. 2. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. М.: Наука, 1998. 330 с. 3. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра, 1992. 176 с. 4. Богданов В.В., Христов Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. Л.: Химия, 1989. 224 с. 5. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1983. 160 с. 6. Промтов М.А. Основы метода расчета роторного импульсно-кавитационного аппарата // Вестник ТГТУ. 2004. Т. 10, № 1А. С. 149–154. 7. Карепанов С.К., Карнаух М.А., Серова М.А., Юдаев В.Ф. Аппараты с переходны-

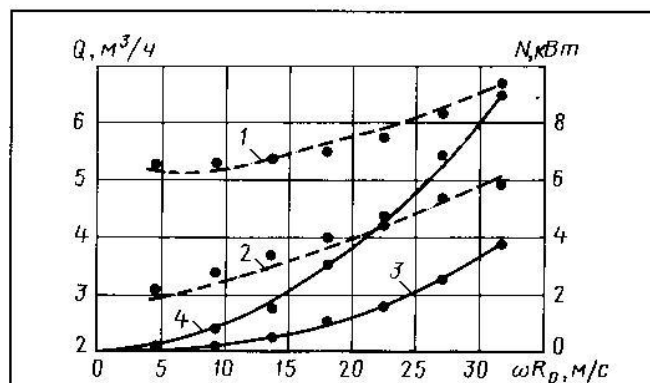
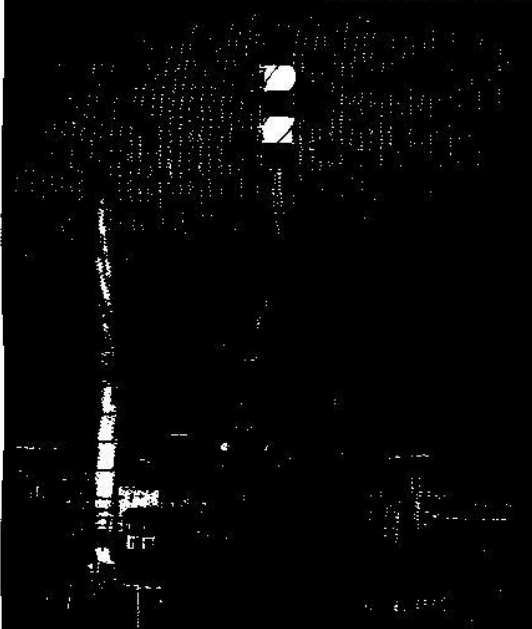


Рис. 2. Зависимости расхода жидкости Q (---) и мощности N (—) от ωR_p :

1, 3 – вода ($\mu = 0,0018$ Па·с, $\rho = 1000$ кг/м³);
2, 4 – растительное масло ($\mu = 0,059$ Па·с, $\rho = 0,059$ кг/м³);
точки – эксперимент;
---, — – расчет по формулам соответственно (2) и (3)

ми гидромеханическими процессами и их характеристики // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2001. № 12. С. 3–6. 8. Червяков В.М., Юдаев В.Ф. Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах. М.: Машиностроение 2007. 128 с. 9. Червяков В.М., Коптев А.А. Определение энергозатрат в роторных аппаратах // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2005. № 4. С. 73–77.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ И ТОПОК РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ



Технологические топки

- ✓ Заключение и сопровождение договоров на проектирование и поставку технологических печей и топок (установок элементарной серы, дожига кислых газов, сжигания мусора и т.д.)
- ✓ Обследование существующих печей
- ✓ Услуги генерального подряда и авторского надзора
- ✓ Технологическая группа, группа КИП

Технологические печи

193230, Россия, Санкт-Петербург, ул. Дыбенко, д. 7; Тел.: +7 (812) 571-3669, 318-78-83
Факс (812) 274 09 72 e-mail: info@andrei-spbd.ru <http://www.andrei-spbd.ru>