

**КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ
РОТОРНОГО ИМПУЛЬСНОГО АППАРАТА**

© М. А. Промтов¹✉, А. Ю. Степанов¹, Н. Ц. Гатапова¹, В. Г. Желудков¹

¹ Кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»,
promtov.ma@mail.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация

Ключевые слова: полость ротора; профиль ротора; роторный импульсный аппарат; скорость потока жидкости; трубка Вентури.

Аннотация: Сделан анализ конструктивных решений полости ротора для повышения интенсивности гидродинамики потока жидкости в роторном импульсном аппарате. Показано, что поверхность ротора и его крышки с профилем, формирующим поток жидкости аналогично потоку жидкости в линейной трубке Вентури, увеличивает величину его относительной скорости более чем в 2,5 раза, по сравнению с плоским ротором. Увеличение скорости потока в полости ротора создает условия для интенсивной гидродинамической и кавитационной обработки жидкости в кольцевой горловине профилированного ротора.

Введение

К агрегатам, реализующим метод дискретного, многофакторного энергетического воздействия на обрабатываемую жидкость, относят пульсационные (импульсные) аппараты, принцип работы которых основан на нестационарности потоков вещества, энергии и импульса. Это оборудование предназначено для получения стабильных, высокодисперсных эмульсий и суспензий, интенсификации процессов растворения и экстрагирования веществ, изменения физико-химических параметров жидкости, деструкции молекулярных соединений [1].

Роторные аппараты, которые в основном реализуют механическое и гидродинамическое воздействия на частицы гетерогенной среды, называются роторно-пульсационными аппаратами (РПА). Механическое воздействие на частицы гетерогенной среды заключается в ударных, срезающих и истирающих нагрузках и контактах с рабочими частями РПА, гидродинамическое воздействие – в больших сдвиговых напряжениях в жидкости, развитой турбулентности, пульсациях давления и скорости потока жидкости [2].

Роторно-пульсационный аппарат эффективен для гетерогенных процессов с твердой фазой и вязкими жидкостями. Характерными конструктивными признаками РПА является наличие нескольких последовательных роторов и статоров (многоступенчатость), а зазор между ротором и статором одной ступени лежит в пределах 0,5...1 мм. Активная рабочая зона в РПА – зазор между ротором и статором (рядами роторов и статоров). Зона зазора имеет небольшой объем, поэтому

обработке подвергается не весь объем жидкости, проходящий через РПА, часть жидкости протекает через пазы в роторе и статоре. Импульсы давления имеют небольшую амплитуду, кавитация возникает за счет вихреобразования и турбулентности потока.

Роторные аппараты, в основу работы которых заложены механический, гидродинамический и гидроакустический факторы воздействия, называются роторными импульсными аппаратами (РИА). Гидроакустическое воздействие на жидкость осуществляется за счет крупномасштабных и мелкомасштабных пульсаций давления, интенсивной кавитации, ударных волн и нелинейных акустических эффектов [3].

Для конструкции РИА характерна одна ступень – один ротор и один статор – с зазором $0,05 \dots 0,1$ мм и большим шагом расположения каналов в роторе и статоре. Зазор между ротором и статором обязательно регулируется и при эксплуатации аппарата поддерживается на оптимальной величине для данного процесса. При вращении ротора время совмещения канала ротора с каналом статора многократно меньше времени перехода канала ротора между соседними каналами статора.

Роторный импульсный аппарат предназначен для структурных преобразований жидкости на микро- и наноуровне в целях изменения ее физико-химических параметров, интенсификации массообменных и гидромеханических процессов.

Теоретическая часть

Стандартная схема одноступенчатого РИА радиального типа показана на рис. 1. Принцип работы аппарата заключается в следующем. Обрабатываемая жидкость под давлением через входной патрубок 1 в полость ротора 2, проходит через каналы ротора 3, каналы статора 4, рабочую камеру 5, образованную корпусом 6 и крышкой корпуса 7, выходит из аппарата через выходной(ые) патрубок(ки) 8. Статор 9 фиксируется корпусом 6 и крышкой 7.

В роторном импульсном аппарате основными активными зонами является канал статора и рабочая камера. В канале статора генерируются акустические импульсы давления за счет периодического совмещения с большой скоростью канала ротора с каналом статора. Поток жидкости при истечении из канала ротора в канал статора при их совмещении сначала ускоряется, а затем резко тормозится, так как при перекрытии канала статора стенкой ротора отсутствует поступление жидкости под давлением с высокой скоростью.

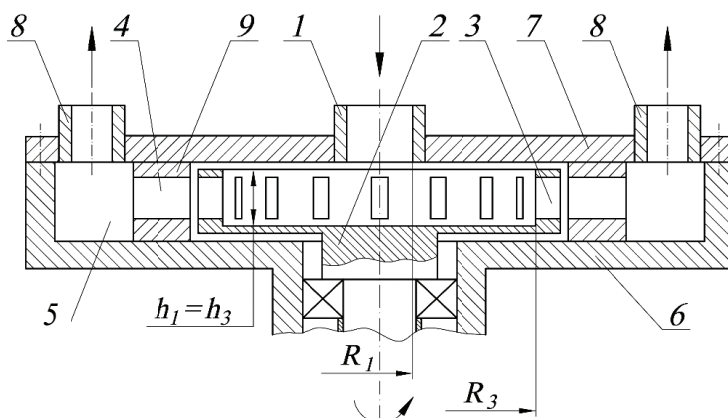


Рис. 1. Схема роторного импульсного аппарата:

1, 8 – входной и выходной патрубки соответственно; 2 – ротор; 3, 4 – каналы ротора и статора соответственно; 5 – рабочая камера; 6 – корпус; 7 – крышка; 9 – статор

При перекрытии канала статора объем жидкости, вошедший в него и движущий по инерции, создает растягивающие напряжения во входной части канала статора, давление снижается до давления насыщенных паров протекающей жидкости, и возникает кавитация. Кавитационные пузыри в основном пульсируют и схлопываются в канале статора, но часть из них выносятся потоком жидкости из канала статора в рабочую камеру.

Большим потенциалом с точки зрения повышения эффективности воздействия на обрабатываемую жидкость является полость ротора, которая ограничена ротором и неподвижной крышкой корпуса аппарата или ротором и в некоторых конструкциях крышкой ротора. Распространенными конструктивными решениями для включения полости ротора в активное воздействие на жидкость является установка лопаток для создания насосного эффекта и дополнительных рядов зубьев ротора и статора для увеличения количества ступеней ротор–статор [2]. Возможны также варианты установки специальных элементов для создания колебаний в жидкости [4], тел особой формы для инициирования вихреобразования и кавитации [5], расположения патрубков для введения компонентов в жидкость [6] или нескольких потоков обрабатываемой жидкости под углами к основному потоку жидкости в роторе в целях увеличения степени турбулентности [7].

При разработке новых конструкций РИА радиального типа (см. рис. 1), необходимо увеличить гидродинамическое и гидроакустическое воздействия на обрабатываемую жидкость в полости ротора, так как она имеет большой объем и через эту зону проходит вся обрабатываемая жидкость. Если ротор не имеет лопаток или других направляющих элементов, то движение жидкости в полости ротора носит сложный характер по спирали, так как ротор вращается с большой скоростью и частично увлекает за собой присоединенные к его поверхности слои жидкости. На траекторию движения микрообъемов жидкости также влияют пульсации давления и скорости из-за периодического совмещения каналов ротора с каналами статора.

По сравнению с каналами ротора и статора скорость потока жидкости в полости ротора невелика, так как для РИА радиального типа поток расходится по радиусу от центра ротора и площадь проходного сечения увеличивается значительно по направлению от центра к периферии ротора, что приводит к снижению скорости потока в радиальном направлении. Центробежная сила незначительно компенсирует это снижение скорости и разгоняет центробежный поток с увеличением радиуса.

Для увеличения турбулентности и генерирования кавитации в потоке жидкости часто используют прием периодического изменения площади проходного сечения по ходу потока. Площадь проходного сечения потока может изменяться по линейным или нелинейным закономерностям. Одним из вариантов изменения площади проходного сечения для потока жидкости является трубка Вентури, которая широко применяется в технике и технологиях для создания вихревого потока и кавитации в потоке жидкости [8].

К роторным импульсным аппаратам конструктивные решения с трубкой Вентури часто применяют для каналов статора [9] или входного патрубка аппарата [10]. Закономерность изменения профиля сечения аналогично трубке Вентури может быть использована и для полости ротора. Так, например, для РИА, представленного на рис. 2, *а*, профиль продольного сечения полости ротора (параллельного центральной оси аппарата), аналогичный профилю продольного сечения трубки Вентури, сформирован ротором и крышкой аппарата [11], а на рис. 2, *б* – ротором и крышкой ротора [12].

Движение жидкости в роторе от центральной оси до каналов в его боковой стенке обеспечивается за счет внешнего давления и центробежных сил.

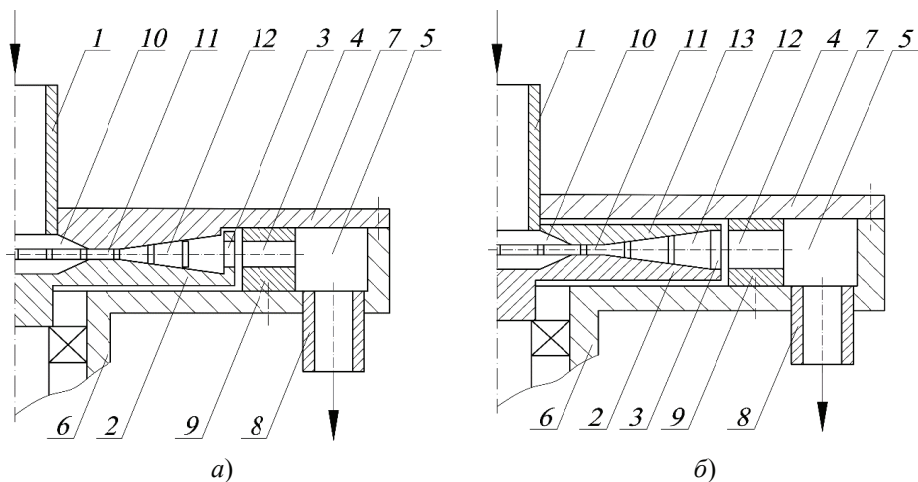


Рис. 2. Роторный импульсный аппарат с профилем полости ротора в виде профиля трубки Вентури по патентам [11] (а) и [12] (б): позиции 1 – 9 (см. рис. 1); 10, 11, 12 – кольцевые конфузор, горловина, диффузор соответственно; 13 – крышка ротора

При прохождении жидкости через кольцевые зоны конфузора 10, горловины 11 и диффузора 12, ее скорость в конфузоре увеличивается, в горловине максимальна, а в диффузоре должна уменьшаться. Давление по ходу потока жидкости в соответствии с законом Бернулли в конфузоре уменьшается, в горловине минимально, а в диффузоре возрастает по мере увеличения площади проходного сечения (см. рис. 2).

Общим недостатком конструкций [11, 12] является неполное соответствие картины поля скорости потока жидкости в полости ротора картине поля скорости потока жидкости в линейной трубке Вентури. В продольном сечении профиль внутренней поверхности ротора и соответствующий ему профиль внутренней поверхности крышки аппарата или крышки ротора для цилиндрической системы координат формально соответствуют профилю трубки Вентури. В линейной трубке Вентури с уменьшением или увеличением ее диаметра квадратично уменьшается или увеличивается площадь проходного сечения.

Роторный импульсный аппарат, представленный на рис. 3, выполнен таким образом, что профиль радиального сечения внутренних поверхностей ротора и его крышки, формирующих кольцевую трубку Вентури, соответствует закономерности изменения площади проходного сечения (рис. 4, а) и, соответственно, изменению скорости потока (рис. 4, б) для линейной трубки Вентури [13]. Площадь проходного сечения кольцевой горловины одинакова, а скорость потока жидкости максимальна по всей длине горловины в радиальном направлении.

Площадь проходного сечения в полости ротора на соответствующем радиусе для РИА (см. рис. 3) определялась по формуле $S_i = 2\pi h_i R_i$, где h_i – высота полости ротора на радиусах R_i от $R_1/2$ до R_3 , м; R_i – текущая радиальная координата, м. Примем следующие соотношения: $R_0 = R_1/2$; $R_3 = 4R_1$; $R_2 = 2R_1$; $h_0 = 4h_1$; $h_1 = 2h_2$; $h_1 = h_3$; $R_1 h_1 = R_2 h_2$. Для расчета площади проходного сечения в полости ротора для РИА (см. рис. 1) применялась эта же формула, где $h_i = h_1 = h_3$ – высота полости ротора на радиусах R_i от R_1 до R_3 , м. Изменение площади проходного сечения полости ротора удобно представить параметром относительной площади проходного сечения $S_{i \text{ отн}} = S_i/S_{\text{вход}}$, где $S_{\text{вход}}$ – площадь проходного сечения на радиусе $R_1/2$ (для рис. 3) и на радиусе R_1 (для рис. 1), м².

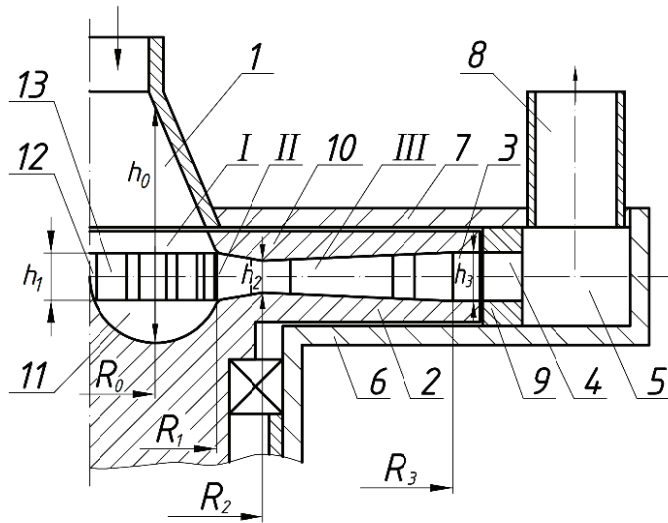


Рис. 3. Схема РИА по патенту [14]:

позиции 1 – 9 (см. рис. 1); 10 – крышка ротора; 11 – кольцевая полусферическая проточка; I, II, III – кольцевые конфузор, горловина, диффузор соответственно

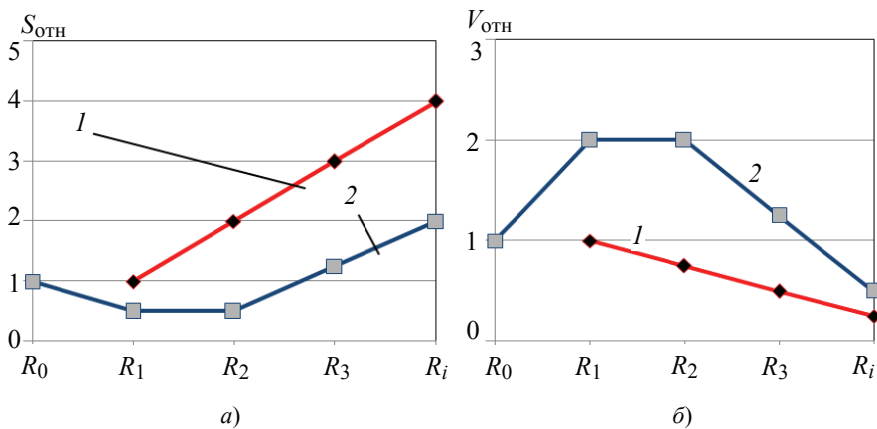


Рис. 4. Изменение величины относительной площади проходного сечения (а) и относительной скорости потока (б) от радиальной координаты в роторе: 1, 2 – для конструкций ротора по рис. 1 и 3 соответственно

Скорость потока определялась по формуле $V_i = Q/S_i$, где $Q = \text{const}$ – заданный расход жидкости через РИА, $\text{м}^3/\text{с}$. Изменение средней скорости потока жидкости в полости ротора удобнее анализировать для параметра безразмерной скорости $V_{i\text{отн}} = V_i/V_{\text{вход}}$, где $V_{\text{вход}}$ – скорость потока на радиусе $R_1/2$ (для рис. 3) и на радиусе R_1 (для рис. 1), $\text{м}/\text{с}$.

Обсуждение результатов и выводы

Эффективность развития кавитации при течении потока жидкости в полости ротора с закономерностями изменения не только профиля, но и давления и скорости потока как в трубке Вентури значительно выше. Для усиления развития кави-

тации в кольцевой горловине трубки Вентури могут быть установлены лопатки, которые увеличивают количество и площадь поверхностей, формирующих и обеспечивающих срыв вихрей и кавитационных пузырьков [14]. При установке в кольцевой горловине лопаток количество поверхностей, на которых могут образовываться микровихри и кавитационные пузырьки, увеличится пропорционально количеству лопаток. Лопатки будут не только образовывать дополнительные поверхности для формирования вихрей, но и выполнять функцию лопастей рабочего колеса насоса, которые увеличат скорость потока в радиальном направлении и усилят центробежное давление на выходе из горловины. Лопатки разбивают объем кольцевой горловины на отдельные радиальные каналы, геометрия которых будет сформирована стенками лопаток, ротора и его крышки.

Как показано на рис. 3, функцию конфузора I выполняет область входного патрубка 4 и кольцевая проточка с углублением полусферической формы 11, функцию горловины – область II, ограниченная наклонными к поперечной плоскости коническими проточками на крышке ротора и внутренней поверхности ротора от радиуса R_1 до радиуса R_2 , функцию диффузора – область III, ограниченная наклонными к поперечной плоскости коническими проточками на крышке ротора и внутренней поверхности ротора от радиуса R_2 до радиуса R_3 . Для увеличения площади поверхностей, на которых образуются и растут кавитационные пузырьки, в кольцевой горловине установлены радиальные лопатки 12, которые образуют радиальные каналы 13 для прохода обрабатываемой жидкости. Кольцевая проточка полусферической формы необходима для формирования области кольцевого конфузора. Линия, показывающая изменение $S_{i\text{отн}}$ на радиусе от R_0 до R_1 , показана как прямая линия для упрощения расчетов.

При течении под давлением потока жидкости в радиальном направлении по кольцевой трубке Вентури, она проходит через кольцевые конфузор, горловину и диффузор. При течении через кольцевой конфузор скорость потока жидкости возрастает. В кольцевой горловине скорость потока жидкости максимальна, а давление снижается и может достичь давления насыщенного пара протекающей жидкости, что приводит к появлению и росту микроскопических парогазовых пузырьков, содержащихся в жидкости, которые увеличиваются в размерах и пульсируют, возникает кавитация.

Поверхностями, ограничивающими поток жидкости в кольцевой горловине, являются внутренние поверхности полости ротора и его крышки, а также поверхности лопаток при наличии [14]. При течении потока жидкости в канале, сформированном стенками лопаток, поверхностей ротора и его крышки кольцевой горловины, возникает так называемая профильная кавитация [15]. Она образуется в основном из зародышей кавитации, находящихся на стенках. Здесь кавитация имеет пузырьковую форму, которая характеризуется ростом, сокращением и схлопыванием каверн, близких к сферической форме, проносящихся по различным траекториям через зону пониженного давления. Образовавшиеся на поверхностях каналов пузырьки пульсируют и схлопываются в кольцевой горловине или в кольцевом диффузоре.

Необходимым условием возникновения пузырьков пара и растворенного газа в жидкости должно быть снижение давления до близкого к давлению насыщенного пара (газа), которое зависит от скорости потока в каналах между стенками лопаток кольцевой горловины трубки Вентури.

В кольцевом диффузоре к кавитационным пузырькам из каналов кольцевой горловины добавляются пузырьки, которые формируются и растут в зонах микровихрей в пристеночном слое поверхности, вдоль которой течет поток жидкости. На выходе из кольцевой горловины трубки Вентури и далее в кольцевом диффу-

зоре появляется зона развитой кавитации, представляющая собой область местного кипения жидкости и последующей конденсации паров и схлопывания парогазовых пузырьков [16].

При кавитации конденсация пузырьков пара (и сжатие пузырьков газа) происходит со значительной скоростью, частицы жидкости, заполняющие полость конденсирующегося пузырька, устремляются к его центру и в момент завершения конденсации (схлопывания пузырька) вызывают локальные пульсации давления, то есть значительное повышение давления в отдельных точках потока жидкости. Основное воздействие на частицы и микрообъемы жидкости происходит в зоне схлопывания кавитационных пузырьков, то есть в кольцевом диффузоре.

Сравнительный анализ конструкций РИА с традиционной, непрофилированной полостью ротора и полостью ротора, сформированной как кольцевая трубка Вентури, показывает существенные преимущества последней по скорости потока при одинаковых соотношениях основных геометрических параметров и одинаковой величине расхода через аппарат.

Заключение

Вариант исполнения профилей внутренних поверхностей ротора и его крышки, обеспечивающих подобие картины полей скорости и давления внутри ротора картине полей скорости и давления линейной трубки Вентури, повышает эффективность работы РИА как генератора вихрей и кавитации. Относительная скорость потока (по отношению к скорости на входе в кольцевой конфузор) в кольцевой горловине на ее входном участке в 2 раза выше, а на выходном – выше более чем в 2,5 раза, по сравнению с величиной относительной скорости на таких же величинах радиусов сечений в роторе с непрофилированной поверхностью. На входе в канал ротора относительная скорость потока для профилированного ротора [13, 14] в 2 раза больше, чем для ротора с плоскими поверхностями.

Список литературы

1. Промтов, М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика : монография / М. А. Промтов. – Москва : Машиностроение -1, 2001. – 260 с.
2. Балабудкин, М. А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности / М. А. Балабудкин. – Москва : Медицина, 1983. – 160 с.
3. Промтов, М. А. Методы расчета характеристик роторного импульсного аппарата : монография / М. А. Промтов, А. Ю. Степанов, А. В. Алешин. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 148 с.
4. Патент № 2294236 Российская Федерация, МПК В01F7/26. Роторный аппарат : № 2004133695/15 : заявл. 18.11.2004 : опубл. 27.02.2007 / Червяков В. М. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». – Бюл. № 6. – 5 с.
5. Патент № 1653816 СССР, МПК В01F7/28. Роторный аппарат : № 4213533/26 : заявл. 23.03.1987 : опубл. 07.06.1991 / Балабышко А. М. [и др.] ; заявитель и патентообладатель Государственный проектно-конструкторский и технологический институт подъемно-транспортного машиностроения. Бюл. № 21. – 2 с.
6. Патент № 238918 СССР, МПК В06b. Гидроакустическая сирена : № 1179048/18-10 : заявл. 15.08.1967 : опубл. 10.03.1969 / Кокорев Д. Т., Царев В. П., Юдаев В. Ф. Бюл. №10. – 2 с.
7. Патент № 2329862 Российская Федерация, МПК В01F7/00. Диспергатор-активатор : №2006103153/15 : заявл. 03.02.2006 : опубл. 27.07.2008 / Суханов Г. Г., Городилов В. Д., Ушаков В. Д. ; заявитель и патентообладатель Научно-производственное предприятие «Никос-1». Бюл. № 21. – 15 с.

8. Experimental investigation of the global cavitation dynamic behavior in a Venturi tube with special emphasis on the cavity length variation / Long Xinping, Zhang Junqiang, Wang Jiong, Xu Maosen, Lyu Qiao, Ji Bin // International Journal of Multiphase Flow. – 2017. – No. 89. – P. 290–298. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016.11.004

9. Патент на полезную модель № 211414 Российская Федерация, МПК В01F 27/73. Роторно-пульсационный аппарат : № 2022104121 : заявл. 17.02.2022 : опубл. 03.06.2022 / Хомяков В. В., Промтов М. А. ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Плазма ТЭКтехнологджи». Бюл. № 16. – 13 с.

10. Патент № 2397826 Российская Федерация, МПК В06В1/20. Роторный аппарат для создания колебаний в проточной жидкости : № 2009128284/28 : заявл. 21.07.2009 : опубл. 27.08.2010 / Червяков В. М. [и др.] ; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет». Бюл. № 24. – 8 с.

11. Патент на полезную модель № 159457 Российская Федерация, МПК В01F 7/10. Роторный импульсный аппарат : № 2015108445/05 : заявл. 11.03.2015 : опубл. 10.02.2016 / Промтов М. А., Алешин А. В., Колесникова М. М. ; патентообладатель М. А. Промтов. Бюл. № 4. – 4 с.

12. Патент на полезную модель № 147138 Российская Федерация, МПК В01F 7/28. Роторный импульсный аппарат : № 2014117787/05 : заявл. 30.04.2014 : опубл. 27.10.2014 / Промтов М. А., Степанов А. Ю., Алешин А. В. ; патентообладатель М. А. Промтов. Бюл. № 30. – 7 с.

13. Патент № 2817546 Российская Федерация, МПК В06В1/20. Роторный импульсный аппарат : № 2024102773 : заявл. 05.02.2024 : опубл. 16.04.2024 / Промтов М. А., Степанов А. Ю., Желудков В. Г. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». Бюл. № 13. – 18 с.

14. Патент № 2844278 Российская Федерация, МПК В06В1/20. Роторный импульсный аппарат : № 2025106765 : заявл. 21.03.2025 : опубл. 28.07.2025 / Промтов М. А., Степанов А. Ю., Желудков В. Г. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет». Бюл. № 22. – 19 с.

15. Арзуманов, Э. С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях / Э. С. Арзуманов. – Москва : Энергия, 1978. – 304 с.

16. Математическое моделирование нелинейных термогазодинамических процессов в многокомпонентных струйных течениях / Л. П. Холпанов, Е. П. Запорожец, Г. К. Зиберт, Ю. А. Кащицкий. – Москва : Наука, 1998. – 320 с.

Design Solutions to Improve the Efficiency of a Rotary Pulse Apparatus

© М. А. Promtov¹✉, А. Yu. Stepanov¹, N. Ts. Gatapova¹, V. G. Zheludkov¹

¹*Department of Technological Processes, Apparatus, and Technosphere Safety,
promtov.ma@mail.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russian Federation*

Keywords: rotor cavity; rotor profile; rotary pulse apparatus; fluid flow rate; Venturi tube.

Abstract: This paper analyzes design solutions for the rotor cavity to improve the hydrodynamic intensity of fluid flow in a rotary pulse apparatus. It has been shown that

the rotor and its cover surface, with a profile that shapes the fluid flow similar to that in a linear Venturi tube, increases its relative velocity by more than 2.5 times compared to a flat rotor. The increased flow velocity in the rotor cavity creates conditions for intensive hydrodynamic and cavitation treatment of the fluid in the annular neck of the profiled rotor

References

1. Promptov M.A. *Pul'satsionnye apparaty rotornogo tipa: teoriya i praktika* (Pulsation rotary type machines: theory and practice), Moscow: Mashinostroenie-1, 2001, 260 p. (In Russ.)
2. Balabudkin M.A. *Rotorno-pul'satsionnye apparaty v khimiko-farmatsevticheskoi promyshlennosti* (Rotary pulsation devices in the chemical and pharmaceutical industry), Moscow: Meditsina, 1983, 160 p. (In Russ.)
3. Promptov M.A., Stepanov A.Yu., Aleshin A.V. *Metody rascheta kharakteristik rotornogo impul'snogo apparata* [Methods of calculating the characteristics of a rotor-stator device], Tambov: Izdatel'stvo TGTU, 2015, 148 p. (In Russ.)
4. Chervyakov V.M., [et. al.], *Rotorny apparat* [Rotor-stator device], Russian Federation, 2007, Pat. 2294236. (In Russ.)
5. Balabyshko A.M., [et al.], *Rotorny apparat* [Rotor-stator device], USSR, 1991, Pat. 1653816. (In Russ.)
6. Kokorev D.T., Tsariev V.P., Udaev V.F. *Gidroakusticheskaya sirena* [Rotor-stator device], USSR, 1969, Pat. 238918. (In Russ.)
7. Sukhanov G.G., Gorodilov V.D., Ushakov V.D. *Dispergator-aktivator* [Rotor-stator device], Russian Federation, 2008, Pat. 2329862. (In Russ.)
8. Long Xinping, Zhang Junqiang, Wang Jiong, Xu Maosen, Lyu Qiao, Ji Bin. Experimental investigation of the global cavitation dynamic behavior in a Venturi tube with special emphasis on the cavity length variation, *International Journal of Multiphase Flow*, 2017, no. 89, pp. 290-298. doi: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2016.11.004
9. Khomyakov V.V., Promptov M.A. *Rotorno-pul'satsionnyy apparat* [Rotary-pulsation device], Russian Federation, 2022, Utility Model Patent No. 211414. (In Russ.)
10. Chervyakov V.M., [et al.], *Rotorny apparat dlya sozdaniya kolebanii v protochnoi zhidkosti* [Rotary apparatus for creating vibrations in a flowing liquid], Russian Federation, 2010, Pat. 2397826. (In Russ.)
11. Promptov M.A., Aleshin A.V., Kolesnikova M.M. *Rotorny impul'snyy apparat* [Rotary pulse apparatus], Russian Federation, 2016, Utility Model Patent No. 159457. (In Russ.)
12. Promptov M.A., Stepanov A.Yu., Aleshin A.V. *Rotorny impul'snyy apparat* [Rotary pulse apparatus], Russian Federation, 2014, Utility Model Patent No. 147138. (In Russ.)
13. Promptov M.A., Stepanov A.Yu., Zheludkov V.G. *Rotorny impul'snyy apparat* [Rotary pulse apparatus], Russian Federation, 2024, Pat. 2817546. (In Russ.)
14. Promptov M.A., Stepanov A.Yu., Zheludkov V.G. *Rotorny impul'snyy apparat* [Rotary pulse apparatus], Russian Federation, 2025, Pat. 2844278. (In Russ.)
15. Arzumanov E.S. *Kavitatsiya v mestnykh gidravlicheskiykh soprotivleniyakh* [Cavitation in local hydraulic resistances], Moscow: Energiya, 1978, 304 p. (In Russ.)
16. Kholpanov L.P., Zaporozhets Ye.P., Zibert G.K., Kashchitskiy Yu.A. *Matematicheskoye modelirovaniye nelineynykh termogidrogazodinamicheskikh protsessov v mnogokomponentnykh struynykh techeniyakh* [Mathematical Modeling of Nonlinear Thermohydrogasdynamic Processes in Multicomponent Jet Flows], Moscow: Nauka, 1998, 320 p. (In Russ.)

Konstruktionslösungen zur Steigerung der Effizienz des Rotationspulsgeräts

Zusammenfassung: Es ist die Analyse der Lösungen für die Rotorhohlraumgestaltung zur Steigerung der hydrodynamischen Intensität der Fluidströmung in einem Rotationspulsapparat durchgeführt. Es ist gezeigt, dass die Rotoroberfläche und ihre Abdeckung mit einem Profil, das die Fluidströmung ähnlich wie in einem linearen Venturi-Rohr formt, die Relativgeschwindigkeit im Vergleich zu einem flachen Rotor um mehr als das 2,5-Fache erhöhen. Die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit im Rotorhohlraum schafft die Voraussetzungen für eine intensive hydrodynamische und Kavitationsbehandlung der Flüssigkeit im ringförmigen Hals des profilierten Rotors.

Solutions de la conception pour l'augmentaton de l'efficacité de l'appareil à impulsions rotatives

Résumé: Est faite l'analyse des solutions de la conception de la cavité du rotor pour augmenter l'intensité de l'hydrodynamique du flux de liquide dans l'appareil à impulsions rotatif. Est démontré que la surface du rotor et de son couvercle avec un profil formant un flux de fluide similaire à celui d'un tube de Venturi linéaire augmente sa vitesse relative de plus de 2,5 fois par rapport à un rotor plat. L'augmentation du débit dans la cavité du rotor crée les conditions d'un traitement hydrodynamique et cavitaire intensif du fluide dans le col annulaire du rotor profilé.

Авторы: *Промтов Максим Александрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Степанов Андрей Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Желудков Владимир Геннадьевич* – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Российская Федерация.