

## Технические науки

УДК 62.67

В.М. Афанасьев

Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар)

E-mail: viktor\_vip90@bk.ru

### Эффективность использования кавитационных технологий для автономных систем отопления

***Аннотация.** В данной статье рассматриваются некоторые вопросы практического применения кавитационных технологий в автономных системах отопления, прилагается элементарный экономический расчет. Рассмотрены современные достижения вихревых и кавитационных теплогенераторов, принцип работы и виды подобной техники. Обозначены положительные и отрицательные моменты монтажа и эксплуатации теплогенераторов. Проведен сравнительный анализ результатов экономического расчета сезонных затрат на эксплуатацию вихревого нагревателя, как автономной системы отопления, и централизованного отопления по тарифам г. Павлодара.*

***Ключевые слова:** кавитация, автономность, теплогенератор, экономичность.*

Практическое применение и использование физических эффектов кавитации в виде широкого спектра инженерных приложений находит нарастающее распространение в различных областях. Достаточно глубокий анализ и обобщение множества предыдущих работ в области термодинамического эффекта гидродинамической кавитации даны, например, в работах Франка или Косара, где экспериментально установлен факт интенсификации теплообмена при различных условиях течения жидкости [1]. Ряд промышленных компаний, таких как американская Dynamics, Inc. и украинская ТЕКМАСН, в течение многих лет успешно используют практическое применение гидродинамической кавитации для тепловой генерации, применяют эффекты кавитационных эффектов экстремального смешивания для получения высокоэффективных видов биотоплива [2]. Ряд успешных инсталляций в промышленных и энергетических приложениях управляемого эффекта гидродинамической кавитации также доказали свою эффективность Номура и Ксиюлай [3].

«Кавитация» относится к образованию пузырьков в жидкости, таким образом, рабочее колесо работает в смешанной фазе (период жидкости и пузырьков газа) окружающей среды. Насосы, как правило, не предназначены для смешанной фазы потока (их работа уничтожает пузыри, из-за чего кавитационный генератор теряет эффективность). Данные термические приспособления предназначены, чтобы вызывать смешанный поток фаз как часть перемешивания жидкости, что приводит к термической конверсии.

В коммерческих кавитационных обогревателях, механическая энергия приводит в действие нагреватель входной энергии (например, двигатель, блок управления), в результате чего жидкость, которая отвечает за образование выходной энергии, возвращается к источнику. Такое сохранение превращает механическую энергию в тепловую с небольшой потерей (как правило, менее 1 %), поэтому при пересчете учитываются погрешности преобразования [4].

Немного по иному работает суперкавитационный реактивный генератор энергии. Такой нагреватель используется на мощных предприятиях, когда тепловая энергия выхода передается на жидкость в определенном устройстве, её мощность значительно превышает количество механической энергии, необходимой для приведения в действие нагревателя. Эти приборы более энергетически продуктивны, чем возвратные механизмы, в частности тем, что они не требуют регулярной проверки и настройки.

Существуют разные типы таких генераторов. Самый распространенный вид – это роторно-гидродинамический механизм Григгса. Его принцип действия основан на работе центробежного насоса. Состоит он из патрубков, статора, корпуса и рабочей камеры. На данный момент существует множество модернизаций, самый простой – приводной или дисковый (сферический) водяной насос ротационного действия. Он представляет собой дисковую поверхность, в которой просверлено много различных отверстий глухого типа (без выхода), данные конструктивные элементы называются ячейки Григгса. Их размерные параметры, число напрямую зависят от мощности ротора, конструкции теплогенератора и частоты вращения привода.

Между ротором и статором находится определенный зазор, который необходим для нагрева воды. Данный процесс осуществляется при помощи быстрого движения жидкости по поверхности диска, что способствует повышению температуры. В среднем, ротор движется приблизительно со скоростью 3000 оборотов в минуту, чего достаточно для повышения температуры до 90 °С.

Второй вид кавитационного генератора принято называть статическим. Он не имеет, в отличие от роторного, никаких вращающихся частей, для того, чтобы осуществлялась кавитация, ему необходимы сопла. В частности, это детали известного Лаваля, которые подключены к рабочей камере.

Для работы, подключается обычный насос, как в роторном виде генератора, он нагнетает в рабочей камере давление, чем обеспечивает большую скорость движения воды, соответственно, повышение её температуры. Скорость жидкости на выходе из сопла обеспечена разностью диаметров поступательного и выходного патрубков. Его недостатком является то, что эффективность значительно ниже, чем в роторном, тем более, он более габаритный, тяжелый.

Вихревые теплогенераторы это установки, которые позволяют получать тепловую энергию в специальных устройствах путем преобразования кинетической энергии вращения электродвигателя.

История создания первых вихревых теплогенераторов уходит корнями в первую треть двадцатого века, когда французский инженер Жозеф Ранк столкнулся с неожиданным эффектом, исследуя свойства искусственно создаваемого вихря в разработанном им устройстве – вихревой трубе. Сущность наблюдаемого эффекта заключалась в том, что на выходе вихревой трубы наблюдалось разделение сжатого воздушного потока на теплую и холодную струю [5].

Исследования в данной области были продолжены немецким изобретателем Робертом Хилшем, который в сороковых годах прошлого столетия улучшил конструкцию вихревой трубы Ранка, добившись увеличения разности температур двух воздушных потоков на выходе из трубы. Однако как Ранку, так и Хилшу не удалось теоретически обосновать наблюдаемый эффект, что отсрочило его практическое применение на многие десятилетия. Следует отметить, что более-менее удовлетворительное теоретическое объяснение эффекта Ранка – Хилша с точки зрения классической аэродинамики не найдено до сих пор.

Одним из первых ученых, которому пришла в голову идея запустить в трубу Ранка жидкость, является российский ученый Александр Меркулов, профессор Куйбышевского (ныне Самарского) государственного авиакосмического университета, которому принадлежит заслуга в развитии основ новой теории. Созданная Меркуловым в конце 50-х годов Отраслевая научно-исследовательская лаборатория тепловых двигателей и холодильных машин провела огромный объем теоретических и экспериментальных исследований вихревого эффекта [4].

Идея использовать в качестве рабочего тела в вихревой трубе не сжатый воздух, а воду, была революционной, поскольку вода, в отличие от газа, несжимаема. Следовательно, эффекта разделения потоков на холодный и горячий ожидать не стоило. Однако результаты превзошли все ожидания: вода при прохождении по «улитке» быстро нагревалась. По мнению некоторых исследователей, аномальное повышение температуры жидкости вызвано микрокавитационными процессами, а именно «схлопыванием» микрополостей (пузырьков), заполненных газом или паром, которые образуются в ходе вращения воды в циклоне.

Между тем, данный принцип был взят на вооружение, что привело к разработке работающих моделей тепло- и электрогенераторов, реализующих описанный выше принцип. В данный момент времени на территории России, некоторых республик бывшего Советского Союза и ряда зарубежных стран успешно функционируют сотни вихревых теплогенераторов различной мощности, произведенных рядом отечественных научно-производственных предприятий.

Выделение тепла в данных теплогенераторах происходит благодаря эффекту кавитации. Кавитация (от лат. *Cavita* – пустота) – процесс парообразования и последующей конденсации пузырьков пара в потоке жидкости, сопровождающийся шумом и гидравлическими ударами, образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных паром самой жидкости. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении её скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), существуют и другие причины возникновения эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырёк схлопывается, излучая при этом энергию.

Явление кавитации носит локальный характер и возникает только там, где есть условия ее возникновения, и перемещаться в среде возникновения не может [6]. Большой энергетический потенциал каверн, имеющих высокую температуру вызывает эрозию металлов, с которыми соприкасается жидкость, в которой развивается кавитация. Поэтому кавитация во многих случаях нежелательна. Например, она вызывает разрушение гребных винтов судов, рабочих органов насосов, гидротурбин и т.п., вызывает шум, вибрации и снижение эффективности работы. При разрушении каверн освобождается большой потенциал энергии, что может вызвать повреждения. Эксперименты показали, что вредному, разрушительному воздействию кавитации подвергаются даже химически инертные к кислороду вещества (золото, стекло и др.), хотя и намного более медленно. Это доказывает, что помимо фактора химической агрессивности газов, находящихся в пузырьках, важным является также фактор забросов давления, возникающих при схлопывании пузырьков.

Этот вредный и опасный эффект можно использовать для нагрева теплоносителя, если сконденсировать каверны в центре сосуда. Подобные устройства уже имеют удачные инсталляции по всему миру, такие как: *Companu Hydro Dynamics, Inc.*, *TEKMASH, ООО «Вихревые теплосистемы»*,

ООО «ЮСМАР», ООО «Нотека-С», НПП «Альтернативные Технологии Энергетики и Коммуникации», Научно-производственное предприятие «Ангстрем», ОАО «Завод КОММАШ», ООО «Центр-Лес», ООО УК «ОРБИ», INTERENERGORESURS Ltd, ООО «Экотепло», «ГосМКБ «Радуга» им. А.Я. Березняка».

Вихревые теплогенераторы имеют ряд преимуществ в инженерной и эксплуатационной практике. Например, их установка не требует согласований с органами энергоснабжения и котлонадзора; объем технического обслуживания минимален (1 раз в 6 месяцев смазка и проверка подшипников и уплотнений генератора). Рассмотрим данные преимущества подробнее.

Экономичность:

- 1) отсутствие затрат на прокладку тепловых и газовых сетей;
- 2) отсутствие затрат на водоподготовку (качество воды, степень её загрязнения в системе отопления и минерализации не влияет на работу нагревателя);
- 3) благодаря оригинальному методу нагрева, накипь в системе отопления не образуется;
- 4) отсутствие необходимости закупки, транспортировки, хранения топлива, и затрат денежных средств, связанных с этим.

Безопасность и экологичность в работе:

- 1) работа теплогенератора исключает использование загрязняющих окружающую среду веществ (газ, уголь, дрова, дизельное топливо);
- 2) отсутствует выделение продуктов горения и распада воздуха при этом вероятность взрыва или пожара исключена;
- 3) применение современных приборов контроля безопасности полностью исключает неуправляемый рост температуры и давления в системе отопления [7].

Простота обслуживания:

- 1) для монтажа достаточно присоединить подающий и обратный патрубки теплогенератора к соответствующим патрубкам системы отопления;
- 2) процесс нагрева и контроль работы системы отопления осуществляется с помощью блока автоматического управления. Специальной подготовки обслуживающего персонала не требуется.

Далее будет представлен расчет эксплуатационных сезонных затрат при использовании ВТГ и централизованного отопления. В качестве примера используем дом площадью 120 квадратных метров (средней площади по Павлодарской области), среднесезонная потребность для обогрева 1 квадратного метра составляет 0.1 кВт/ч.

Исходные данные

Теплопроизводительность ВТГ 11000 ккал/ч.

– Обогреваемый объем/площадь (V/S) =  $300\text{ м}^3/120\text{ м}^2$ . На данную площадь необходимо 10318 ккал/ч при затратах на 1 м<sup>2</sup> -0,1кВт/ч.

– С учетом работы ВТГ средняя потребляемая мощность электродвигателя ВТГ (W) 18 кВт.

– Тариф оплаты электропотребления для физических лиц в г. Павлодаре 10,18 тг кВт/ч.

– Утвержденный тариф теплопотребления для физических лиц в г. Павлодаре 0.001123 тг/ккал.

– Оплата эксплуатационных расходов ВТГ – 222 дня.

– Оплата центрального теплопотребления – 222 дня.

Сравнительный экономический расчет ВТГ и централизованного отопления:

– Суточное время работы электродвигателя теплогенератора ВТГ (по графику) 8,3 часов в сутки.

– Оплата потребленной электрической энергии при эксплуатации ВТГ за 1 час работы (18 x 10,18) = 183,24 тенге.

– Суточная оплата составляет (8,3 x 183,24) = 1520,892 тенге.

– Ежемесячная составляет (1520,892 x 31 день) = 47147,652 тенге.

– Сезонная составляет (1520,892 x 222 дня) = 337638 тенге.

– Оплата централизованной потребленной тепловой энергии за 1 час (10318 x 0,001123) = 11,6 тенге.

– Суточная составляет (24 x 11,6) = 278,4 тенге.

– Ежемесячная составляет (278,4 x 31 день) = 8630,4 тенге.

– Сезонная составляет (278,4 x 222 дня) = 61804,8 тенге.

Кавитационные способы генерации теплоты в настоящее время вполне конкурируют с высокофорсированными автономными системами отопления (АСО) на базе топливных или электрических нагревателей. С точки зрения экономической эффективности, использование ВТГ обходится значительно дороже централизованных систем отопления (ЦСО), но в их отсутствие имеет право на существование.

Чем меньше габаритные размеры подобной техники, тем более простым будет ее эксплуатация. Например, существуют полностью автономные устройства с автоматическим управлением. При этом пользователю нет необходимости участвовать в процессе. А вот при использовании некоторых исполнений твердотопливных теплогенераторов без участия обученного оператора для загрузки топлива не обойтись, так как в данных агрегатах предполагается ручная подача древесины.

Сегодня существуют разные исполнения подобной техники с полностью автоматизированным исполнением, включая и предустановленный температурный режим. Учитывая, что агрегаты такого рода полностью безопасны, как с точки зрения экологичности, так и с точки зрения пожарной безопасности, то нет необходимости их постоянного контроля [8].

Но для эффективной продолжительной работы рекомендуется периодически производить обслуживание, в особенности, агрегатов, которые работают с жидкостным теплоносителем.

Таким образом, для организации отопительной системы и горячего водоснабжения не всегда обязательно обращаться к стандартным решениям. На практике оказывается, что при использовании тепловых установок на базе вихревых теплогенераторов отмечается существенная экономия в сравнении с прочими видами отопительных систем.

Анализ состояния разработок современных бестопливных теплогенераторов показывает, что в настоящее время на рынке преобладают вихревые электромеханические теплогенераторы с вращением воды и (или) вращением кавитаторов.

Однако данный класс наиболее распространенных сейчас теплогенераторов имеет существенные недостатки конструкции, связанные с дорогим и ненадежным электромеханическим насосом, что не позволяет существенно расширить серийное производство и рынок продаж таких устройств. Существует реальная перспектива создания полностью бесконтактных эффективных теплогенераторов нового поколения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Franc J.-P. (2006) *Physics and Control of Cavitation, Design and Analysis of High Speed Pumps*, Grenoble, France: RTO-EN-AVT-143. – Режим доступа: <http://www.rto.nato.int/abstract.asp>.
- 2 Schneider B. Kosar, A., Kuo C.-J., Mishra C., Cole G.S., Scaringe R.P., Peles Y. Cavitation Enhanced Heat Transfer in Microchannels, *Journal of Heat Transfer*, 128 (2006), С. 1293-1301.
- 3 Zhou D.W., Liu D.Y., Hu X.G., Ma C.F. (2002) Effect of acoustic cavitation on boiling heat transfer, *J. Experimental Thermal and Fluid Science*, 26 (2002), С. 931–938.
- 4 Nomura S., Nakagawa M. Analysis of an ultrasonic field attenuated by oscillating cavitation bubbles. *J. Acoustic Science & Technology*. Том 22, 4 (2001), С. 283–291.
- 5 Xiulan J. C., Yan H. R., Cheng Y. Numerical simulation on enhancement of natural convection heat transfer by acoustic cavitation in a square enclosure, *J. Applied Thermal Engineering* 29 (2009), С. 1973–1982.
- 6 Loraine G., Chahine G., Hsiao C.T. Choi J.K. Aley. P. Disinfection of gram-negative and gram-positive bacteria using DynaJets® hydrodynamic cavitating jets, *J. Ultrason Sonochemistry*, (2012), С.710–715.
- 7 Howard S. N., Grantz D. A., Meinzer F. C., Goldstein G., Gayle C. M., and Crisosto C. Genotypic Variability in Vulnerability of Leaf Xylem to Cavitation in Water-Stressed and Well-Irrigated Sugarcane. *J. Plant Physiology*, (1992), С. 1020–1028
- 8 Byrne G.F., Begg J.E., Hansen G.K. . Cavitation and resistance to water flow in plant roots, *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol.18 (2011), Выпуск 1, С. 21–25.

### REFERENCES

- 1 Franc J.-P. (2006) *Physics and Control of Cavitation, Design and Analysis of High Speed Pumps*, Grenoble, France: RTO-EN-AVT-143. – Режим доступа: <http://www.rto.nato.int/abstract.asp>.
- 2 Schneider B. Kosar, A., Kuo C.-J., Mishra C., Cole G.S., Scaringe R.P., Peles Y. Cavitation Enhanced Heat Transfer in Microchannels, *Journal of Heat Transfer*, 128 (2006), S. 1293-1301.
- 3 Zhou D.W., Liu D.Y., Hu X.G., Ma C.F. (2002) Effect of acoustic cavitation on boiling heat transfer, *J. Experimental Thermal and Fluid Science*, 26 (2002), S. 931–938.
- 4 Nomura S., Nakagawa M. Analysis of an ultrasonic field attenuated by oscillating cavitation bubbles. *J. Acoustic Science & Technology*. Том 22, 4 (2001), S. 283–291.
- 5 Xiulan J. C., Yan H. R., Cheng Y. Numerical simulation on enhancement of natural convection heat transfer by acoustic cavitation in a square enclosure, *J. Applied Thermal Engineering* 29 (2009), S. 1973–1982.
- 6 Loraine G., Chahine G., Hsiao C.T. Choi J.K. Aley. P. Disinfection of gram-negative and gram-positive bacteria using DynaJets® hydrodynamic cavitating jets, *J. Ultrason Sonochemistry*, (2012), S.710–715.
- 7 Howard S. N., Grantz D. A., Meinzer F. C., Goldstein G., Gayle C. M., and Crisosto C. Genotypic Variability in Vulnerability of Leaf Xylem to Cavitation in Water-Stressed and Well-Irrigated Sugarcane. *J. Plant Physiology*, (1992), S. 1020–1028
- 8 Byrne G.F., Begg J.E., Hansen G.K. . Cavitation and resistance to water flow in plant roots, *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol.18 (2011), Выпуск 1, S. 21–25.

**ТҮЙІН****В.М. Афанасьев***Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар қ.)****Автономды жылыту жүйелеріне арналған кавитация технологияның тиімділігі***

Бұл мақалада қарапайым экономикалық есептеуді қоса тіркеледі, автономды жылыту жүйелерінде кавитация технологияларды практикалық қолдану кейбір талқылайды. қазіргі заманғы жетістіктері мен кавитация құйынды жылу генераторлары, жұмыс істеу принципі және осындай жабдықтарды түрлері. жылу генераторлар орнату және пайдалану оң және теріс аспектілері аталып өтті. қосалқы жылу жүйелері мен Павлодар аудандық жылу тарифтерінің ретінде құйынды, жылытқыштар маусымдық пайдалану шығындарын экономикалық есептеудің салыстырмалы талдау.

**Түйін сөздер:** кавитация, төзімділік, жылу генераторы тиімділігі.

**RESUME****V.M. Afanasev***Innovative University of Eurasia (Pavlodar)****The efficiency of the cavitation technology for autonomous heating systems***

This article discusses some of the practical application of cavitation technologies in autonomous heating systems, attached elementary economic calculation. The modern achievements and cavitation vortex heat generators, principle of operation and types of such equipment. Marked positive and negative aspects of installation and operation of heat generators. A comparative analysis of the economic calculation of seasonal operating costs of the vortex heater as auxiliary heating systems and district heating tariffs for Pavlodar.

**Keywords:** cavitation, endurance, heat generator efficiency.