

Научная статья

Original article

УДК 531

DOI 10.24412/2658-3569-2021-10072



**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ В ВИХРЕВОМ
ИДРАВЛИЧЕСКОМ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРЕ**
STUDY OF EFFECTS IN A VORTEX HYDRAULIC HEAT
GENERATOR

Солодов Даниил Андреевич, студент 3 курса, Рязанский институт (филиал) Московского политехнического университета, 390000, РФ, Рязанская обл., г. Рязань, ул. Право-Лыбедская, д. 26/53

Daniel Solodov, 3rd year student, Ryazan Institute (branch) of Moscow Polytechnic University, 390000, Russian federation, Ryazan region, Ryazan, Pravolibedskaya Street, 26/53, E-mail: 8astaroth222@mail.ru

Аннотация: В современном мире в сфере газо- и электроотопления промышленных и гражданских помещений существует высокая потребность повсеместного внедрения энергосберегающих технологий, которые позволили бы снизить энергетические затраты в данном процессе и увеличить безопасность их эксплуатации. Актуальность этой задачи в наше время обуславливается тем, что далеко не на всех объектах существует возможность отапливать помещения классическими теплогенераторами, работающими от подачи к ним газа, жидкого или твердого топлива, а

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

использование теплоэлектронагревателей является нецелесообразным или небезопасным, а вдобавок еще и экономически невыгодным. Выходом из этой ситуации могут послужить альтернативные источники энергии, давно рассматривающиеся как перспективное и конкурентное направление. К одним из таких источников, к тому же являющихся возобновляемыми, относится энергетика вихревых потоков, использующая, как видно из её названия, технологию завихрения (кручения) среды, в которой она работает – чаще жидкость (вода) – для последующего преобразования её в полезную работу и как следствие – в тепловую энергию при помощи происходящих в системе кавитационных процессов, возникающих при закручивании теплоносителя [1,2,3].

В статье приведено исследование принципа общего действия ВТГ, рассмотрены основы теории закрученных потоков, использующихся в ВТГ и приведены основные принципы определения эффективности его работы.

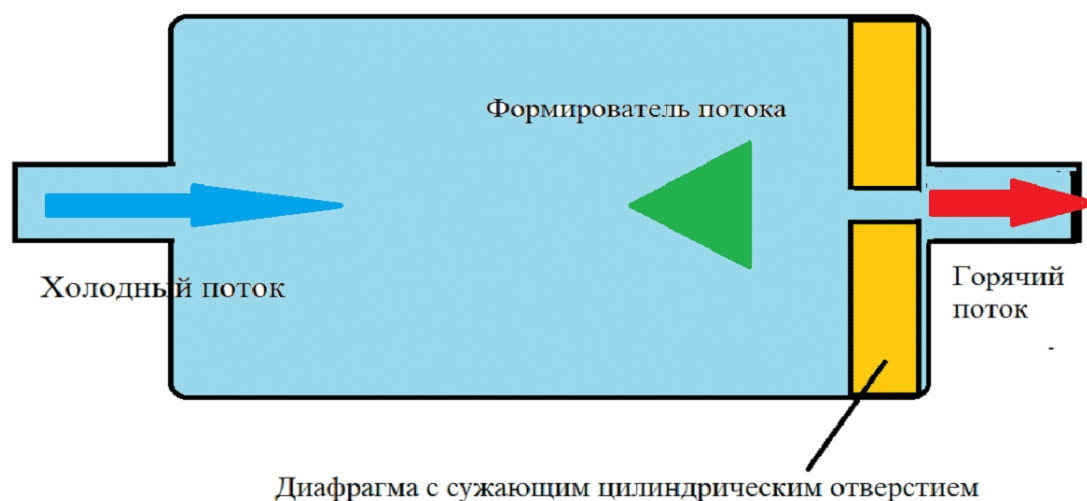
Abstract: In the modern world, in the field of gas and electric heating of industrial and civil premises, there is a high need for the widespread introduction of energy-saving technologies that would reduce energy costs in this process and increase the safety of their operation. The relevance of this task in our time is due to the fact that not at all facilities it is possible to heat premises with classical heat generators operating from the supply of gas, liquid or solid fuel to them, and the use of heat electric heaters is impractical or unsafe, and in addition, it is also economically unprofitable. Alternative energy sources, which have long been considered as a promising and competitive direction, can serve as a way out of this situation. One of these sources, which are also renewable, is the energy of vortex flows, which uses, as its name implies, the technology of swirling (twisting) of the medium in which it operates - more often liquid (water) - for its subsequent transformation into useful work. and as a consequence - into thermal energy with the help of cavitation processes occurring in the system, arising when the coolant swirls .

The article provides a study of the principle of the general operation of the HTG, considers the foundations of the theory of swirling flows used in the HTG and provides the basic principles for determining the efficiency of its operation.

Ключевые слова: вихревой теплогенератор, закрученный поток, отопление, эффективность, кавитация, энергия, работоспособность.

Keywords: vortex heat generator, swirling flow, heating, efficiency, cavitation, energy, productivity.

Данная технология осуществляется с помощью использования вихревых гидравлических теплогенераторов (ВТГ) – устройств, предназначенных для выработки полезной мощности и тепловой энергии путем изменения некоторых параметров жидкости при её замедляющемся и ускоряющемся перемещении внутри корпуса. Общая схема работы такого генератора показана на рисунке 1.



Сначала с помощью различных закручивающих систем ВТГ, происходит разгон теплоносителя с последующим сужением его в конфузоре, а затем – замедление расширением в выходной кавитационной трубе [4,5,6,7], где происходит повышение температуры жидкости за счет трения как её внутренних слоев между собой, так и трения о внутреннюю поверхность крышки генератора. Но главную роль в подогреве играет

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

основной использующийся здесь эффект – кавитация, определяющий общий принцип работы ВТГ: до тех пор, пока жидкость передвигается под избыточным давлением по конфузору, её молекулы будут выталкивать молекулы газа, которые начинают скапливаются в пузырьки, на которых будет действовать все более возрастающее поверхностное давление. Далее температура внутри них будет расти, достигая приблизительно 900°C, после чего при прохождении расширения в трубе (области с пониженным давлением) происходит сдавливание этих пузырьков, при котором накопленная в них тепловая энергия выделяется в окружающее пространство.

Данный процесс кавитации может побуждать некоторую часть теплоносителя к изменению своего состояния на упорядоченное или более близкое к жидкокристаллическому [4], причем при такого рода процессе будет наблюдаться интенсивное выделение теплоты. Такое явление можно определить, как фазовый переход и в таком случае будет иметь место предположение, что в процессе взаимного действия теплоносителя и кавитации, первый испытывает фазовый переход с выделением некоторого количества избыточной теплоты. В ходе многих экспериментов доказано [8,9], что подобный переход (по-другому гидродинамический разрыв) может существовать только тогда, когда достигается определенная величина скорости потока, при которой статическое давление в жидкости сравнивается по величине с давлением её насыщенных паров. Величина этой предельной скорости для закрученного вихревого потока внутри трубы высчитывается по формуле (1):

$$VG = \sqrt{2PG(PN - P)/P\rho} \quad (1)$$

где: PG - давление насыщенного пара, Па;

PN – исходное давление жидкости, Па;

P – статическое давление на периферии вихря, Па;

$P\rho$ – статическое давление в жидкости, Па.

Что касается общей теории работы ВТГ, то в ней применяются основные положения и уравнения течения закрученных потоков жидкостей.

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

Например, в основе одной из версий расчета ВТГ лежит дифференциальное уравнение движения [4]. Уравнение вязкой несжимаемой жидкости, в основе которого положен закон внутреннего трения Ньютона, в его использовании по отношению к жидкому состоянию частицы имеет вид (2):

$$dC/dt = F - 1/\rho \cdot \text{grad} \cdot P + 1/\rho \cdot \text{div} T_n \quad (2)$$

где: C – скорость жидкой частицы;

t – текущее время;

F – ускорение от действия внешних массовых сил;

ρ – плотность жидкости;

P – давление, определяющее инвариантное к ориентации в пространстве площадки, на которую оно действует, значение нормального напряжения;

T_n – тензор напряжений.

Дополняя это уравнение уравнением неразрывности $\text{div} C = 0$ и считая, что массовые силы обладают потенциалом Π , т.е. $F = -\text{grad} \Pi$, получим: $\partial C/\partial t + \text{rot} V \cdot V = -\text{grad} (\theta^2/2 + \Pi + P/\rho) - \theta \text{rot} \text{rot} V$ [4].

Если движение потока турбулентного типа рассматривать в тензорной форме, то оно примет вид уравнений Рейнольдса с осредненными компонентами скорости $C' = \{C'_1, C'_2, C'_3\}$. При отсутствии внешних массовых сил эти уравнения имеют вид (3):

$$\partial C_i/\partial t + C_j \cdot \partial C_i/\partial x_j = - 1/\rho \cdot \partial p/\partial x_i + \nu \nabla^2 C_i + 1/\rho \cdot \partial/x_j (-\rho \theta_i \theta_j), \quad \partial C_i/\partial x_j = 0 \quad (3)$$

где: p – среднее значение давления по времени,

$\rho \theta_i \theta_j$ - тензор осредненных турбулентных напряжений,

∇^2 - оператор Лапласа.

Данное уравнение для двигающегося вихревого потока в горизонтально расположенной трубе цилиндрического сечения для удобства расчетов может быть представлено в цилиндрической системе координат с осредненными компонентами скорости w (по радиусу), Θ (по углу), θ (по оси)

и пульсационными компонентами скорости θ' , u' , w' , что наглядно показано ниже на рисунке 2.

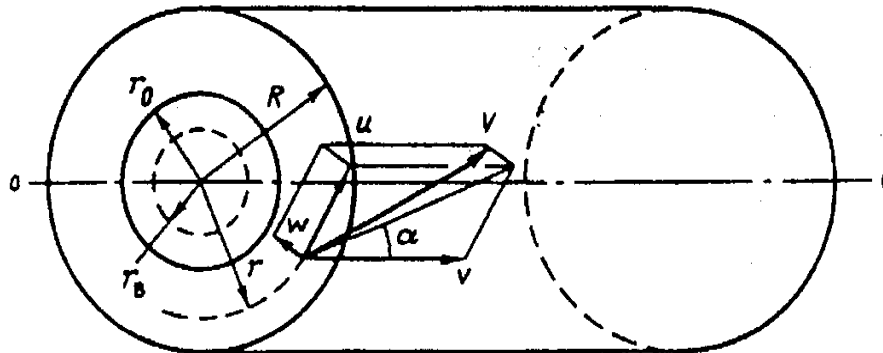


Рисунок 2 – Составляющие скорости и характерные радиусы в поперечном сечении закрученного потока в ВТГ

Также векторы изображенных на рисунке скоростей могут быть использованы для определения интенсивности кругового вращения потока в некоторой его точке с помощью формулы определения угла скоса между направлениями осевой и полной скоростей: $A = \arccos(\theta/v) = \arctg(u/\theta)$. При движении потока по трубе, образуется так называемый вихрь (как полностью заполненный теплоносителем, так и пустой внутри), совпадающий по положением своей главной оси с осью самого потока. Исходя из математического описания жидкости в плоскости, перпендикулярной оси потока, можно выделить две области: вихревое движение и невихревое круговое, наблюдающееся по оси закрученного вихря. Вихревое движение как таковое подразумевает вращение элементарных частиц теплоносителя вокруг своих осей в данный измеряемый момент времени. В пределах так называемого вихревого шнура (область оси закрученного потока) все частицы жидкости вращаются вокруг собственных осей с угловой скоростью Ω . Закон распределения окружных скоростей можно представить законом вращения твердого тела: $U = \Omega r$. Давление p в закрученном потоке может быть вычислено как корень уравнения Эйлера: $u^2/r = 1/\rho \cdot \partial p / \partial r$. Проинтегрировав

его по r , получаем формулу, дающую возможность рассчитать давление по оси вихревого шнура: $P = \rho \cdot (u^2 - uv^2) / 2 + p_v$.

Однако для грамотного использования эффектов ВТГ следует не только понимать теорию происходящих в нем процессов, но также и уметь определять эффективность составляющих его элементов и его общую. Однако оценка эффективности ВТГ не ограничивается только лишь сравнением ценовых категорий. Так, одним из критериев является коэффициент преобразования энергии (μ) [10,11,12], высчитывающийся по формуле (4):

$$\mu = \Sigma Q / W \quad (4)$$

где: ΣQ – полная теплопроизводительность системы;

W – затраченная электроэнергия.

На рисунке 3 изображен график экспериментальных исследований изменения температуры ВТГ (по оси абсцисс указано время, с; по оси ординат – температура батареи, °C) – из него по числовым данным можно определить коэффициент преобразования энергии: $\mu = \Sigma Q / W = 97,7\%$.

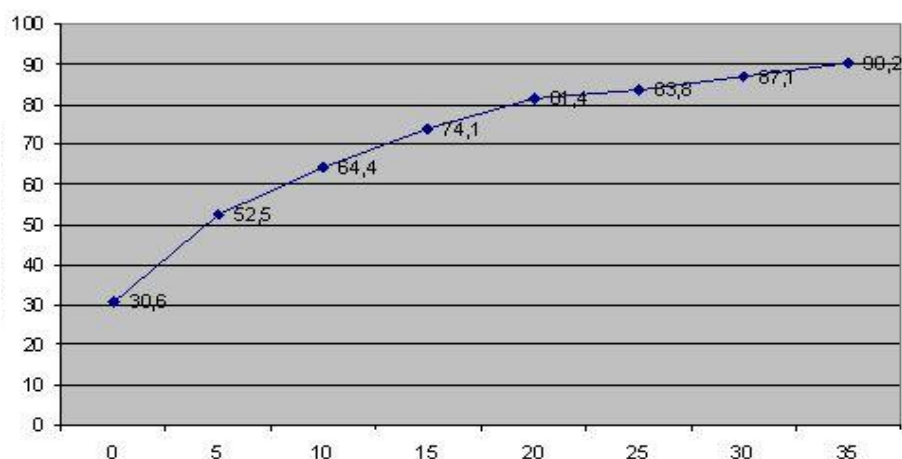
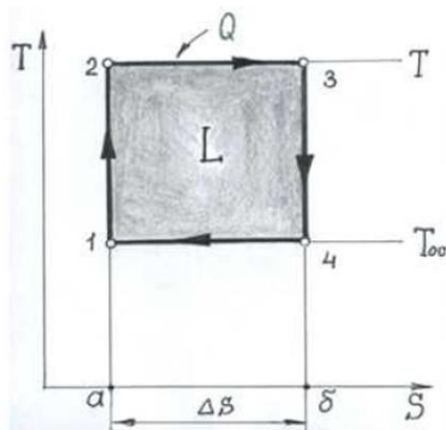


Рисунок 3 – График изменения температуры ВТГ

Следующий критерий – работоспособность генератора (K_p), т.е. возможное количество работы L , которое может быть получено в идеальном (обратимом) процессе от любого количества тепла Q (цикл Карно в осях T - S , изображенный на рисунке 4). Из графика: $K_p = L/Q$. В данной формуле работа L может быть найдена как площадь 1-2-3-4 (F_1) на графике, а количество теплоты Q как площадь а-2-3-б (F_2). Следовательно, $K_p = F_1/F_2 = (T - T_{oc}) \times \Delta S / T \times \Delta S = (T - T_{oc}) / T = 1 - T_{oc} / T$. Для децентрализованных систем отопления, производящих тепло Q на температурном уровне T_b , коэффициент работоспособности тепла определяется как $K_p = (T_b - T_{oc}) / T_b = 1 - T_{oc} / T_b$, где T_b - температура нагреваемой генератором воды, T_{oc} – температура



окружающей среды.

Рисунок 4 – Цикл Карно

Одним из главнейших критериев эффективности ВТГ выступает его КПД, который в данном случае вычисляется по формуле (5):

$$\text{КПД} = \Sigma Q \times K_p / W \quad (5)$$

где: $K_p = 1 - T_{oc} / T_b$ – работоспособность генератора;

ΣQ – полная производительность системы, которая может быть посчитана: $\Sigma Q = Q_1 + Q_2$, Дж; W - электроэнергия, затраченная на привод гидронасоса, кВт×ч. Q_1 и Q_2 (теплота, отведенная за время работы насоса и теплота, отведенная в момент паузы в работе соответственно) можно определить по формулам (6) и (7):

$$Q1 = Gp \times Cp \times \Delta t1 \times tp, \text{ Дж} \quad (6)$$

где: Gp - расход воды в период работы гидронасоса, кг/с,
 Cp - теплоёмкость воды, ккал/кг×град,
 $\Delta t1 = tв - tобр$ - разность температуры воды при прямой и обратной подачах, °С,
 tp - время работы гидронасоса в каждом цикле, сек.

$$Q2 = F \times a \times \Delta t2 \times tp \times 4,191 \times 10^{-3}, \text{ Дж} \quad (7)$$

где: F - теплопередающая поверхность установки, м²;
 $\Delta t2 = tпов - tос$ - разность температур поверхности установки и окружающей среды, °С;
 tp – время паузы в работе насоса, сек;
 a - коэффициент теплопередачи, Вт/м²×К.

Итак, можно сказать, что использование энергии закрученных потоков в вихревом теплогенераторе, как альтернативный источник тепловой энергии – это перспективное и конкурентное направление в сфере отопления жилых и производственных помещений, позволяющее решить одну из главных задач в данной области – снижение энергозатрат и повышение безопасности при эксплуатации данного оборудования потребителем. Являясь в то же время возобновляемым источником, энергетика вихревых потоков отвечает всем требованиям теплоэнергетики и в обозримом будущем позволит сэкономить финансы своих пользователей и их драгоценное время.

Литература

1. Меркулов А.П., Вихревой эффект и его применение в технике, М.: Машиностроение, Куйбышев, 1969.
2. Серебряков Р.А., Бирюк В.В., Вихревая энергетика, ж. Современные проблемы совершенствования работы ж/д транспорта, М.: РГОТУПС, 2006, т.1

3. Вихревой теплогенератор – новое слово в вопросе обогрева [Электронный ресурс] – URL: <https://masterservisnsk.ru/poleznoe/vihrevye-generatory.html>
4. Серебряков Р.А., Вихревой гидравлический теплогенератор, 2016.
5. Белозерцев В.В., Бирюк В.В., Серебряков Р.А., Автономные, экономичные и экологически чистые системы локального теплоснабжения, Возобновляемая энергетика для сельского хозяйства, научные труды ВИЭСХ, т.86, М.: ВИЭСХ, 2000, с. 173-181.
6. Мартынов А.В., Бродянский.В.М., Что такое вихревая труба? М.: Энергия, 1976.
7. Лойцянский Л.Г., Механика жидкости и газа, М.: Наука, 1970.
8. Запорожец Е.П., Зиберт Г.К., Артемов А.В., Гидроприводные теплогенераторы, М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2003.
9. Запорожец Е.П., Александров И.А., Интенсификация процессов химической технологии эжекционными струйными течениями жидкости и газа, ж. Химическая промышленность, 1991, №8.
10. Мартынов А.В., Установки для трансформации тепла и охлаждения, М.: Энергоатомиздат, 1989.
11. Бродянский В.М., Бакластов А.М., Голубев Б.П., Промышленная теплотехника и теплоэнергетика: Справочник, М.: Энергоатомиздат, 1983.
12. Бродянский В.М., Сорин М.В. Принципы определения КПД технических систем преобразования энергии и вещества, Известия Вузов, сер. Энергетика. 1985, №1.

Literature

1. Merkulov AP, Vortex effect and its application in technology, M.: Mechanical engineering, Kuibyshev, 1969.
2. Serebryakov R.A., Biryuk V.V., Vortex power engineering, f. Modern problems of improving the work of railway transport, M.: RGOTUPS, 2006, v.1

3. Vortex heat generator - a new word in the issue of heating [Electronic resource] - URL: <https://masterservisnsk.ru/poleznoe/vihrevye-generatory.html>
4. Serebryakov R.A., Vortex hydraulic heat generator, 2016.
5. Belozertsev V.V., Biryuk V.V., Serebryakov R.A., Autonomous, economical and environmentally friendly systems of local heat supply, Renewable energy for agriculture, scientific works of VIESH, v.86, М.: VIESH, 2000, with. 173-181.
6. Martynov AV, Brodyansky VM, What is a vortex tube? Moscow: Energy, 1976.
7. Loytsyansky L.G., Mechanics of liquid and gas, Moscow: Nauka, 1970.
8. Zaporozhets E.P., Siebert G.K., Artemov A.V., Hydraulic drive heat generators, М.: IRTs Gazprom LLC, 2003.
9. Zaporozhets EP, Aleksandrov IA, Intensification of the processes of chemical technology by ejection jet streams of liquid and gas, well. Chemical industry, 1991, no. 8.
10. Martynov AV, Installations for the transformation of heat and cooling, М.: Energoatomizdat, 1989.
11. Brodyansky VM, Baklastov AM, Golubev BP, Industrial heat engineering and heat power engineering: Handbook, Moscow: Energoatomizdat, 1983.
12. Brodyansky V.M., Sorin M.V. Principles for determining the efficiency of technical systems for converting energy and matter, Izvestiya Vuzov, ser. Energy. 1985, no. 1.

© Солодов Д.А., 2021 *Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №4/2021.*

Для цитирования: Солодов Д.А. Исследование эффектов в вихревом гидравлическом теплогенераторе// Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №4/2021