DOI: 10.17117/na.2015.09.860

<http://ucom.ru/doc/na.2015.09.860.pdf>

Поступила (Received): 19.09.2015

**Федоров С.С., Сидоров И.Ю.,
Труханов И.П., Яргункин Д.В., Хазеев Т.Р.**

Подходы к использованию энергии сжатого природного газа как альтернативного источника теплоснабжения

**Fedorov S.S., Sidorov I.Yu., Trukhanov I.P.,
Yargunkin D.V., Hazeev T.R.**

Approaches to use of energy of the compressed natural gas as alternative source of heat supply

Рассмотрен вариант использования дросселируемой кинетической энергии потока сжатого природного газа, в системах газораспределения, как источник теплоснабжения для отопления производственных сооружений. Получена и проанализирована математическая модель работы вихревого теплообменного аппарата работающего на энергии потока газа
Ключевые слова: энергосбережение, природный газ, термическое расслоение, система отопления

The option of use of drosseliruyemy kinetic energy of a stream of the compressed natural gas, in systems of gas distribution, as heat supply source for heating of production constructions is considered. The mathematical model of operation of the vortex heatexchange device of the gas working at energy treacle is received and analysed

Key words: energy saving, natural gas, thermal stratification, system of heating

Федоров Сергей Сергеевич

Преподаватель
Юго-Западный государственный университет
г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Fedorov Sergey Sergeyevich

Teacher
Southwest state university
Kursk, 50 years of October st., 94

Сидоров Игорь Юрьевич

Начальник отделения
Центр научно-исследовательских и
производственных работ, БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА
г. Когалым, ул. Центральная, 19

Sidorov Igor Yuryevich

Head of Department
Center of research and production works,
BASHNEFTEGEOFIZIKA
Kogalym, Tsentralnaya st., 19

Труханов Илья Петрович

Эксперт
Центр научно-исследовательских и
производственных работ, БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА
г. Когалым, ул. Центральная, 19

Trukhanov Ilya Petrovich

Expert
Center of research and production works,
BASHNEFTEGEOFIZIKA
Kogalym, Tsentralnaya st., 19

Яргункин Дмитрий Владимирович

Эксперт
Центр научно-исследовательских и
производственных работ, БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА
г. Когалым, ул. Центральная, 19

Yargunkin Dmitry Vladimirovich

Expert
Center of research and production works,
BASHNEFTEGEOFIZIKA
Kogalym, Tsentralnaya st., 19

*Хазеев Тимур Риннатович**Эксперт**Центр научно-исследовательских и
производственных работ, БАШНЕФТЕГЕОФИЗИКА
г. Когалым, ул. Центральная, 19**Hazeev Timur Rinnatovich**Expert**Center of research and production works,
BASHNEFTEGEOFIZIKA
Kogalym, Tsentralnaya st., 19*

Принятие Государственной программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности на период до 2020 года потребовало решения проблемы снижения энергетических затрат на производство, транспортирование и распределение тепловой энергии, в том числе и в строительной отрасли [1-3]. В настоящее время для поддержания минимально допустимой, в соответствии со СНиП 41-02-2003, температуры в помещениях (12–15°C) на газорегуляторных пунктах только по одной области в отопительный период сжигается природный газ в индивидуальных котлах систем отопления в среднем на сумму 1-1,2 мил. руб. в год, что является существенным при всё возрастающей стоимости «голубого» топлива. В то же время система регулирования предусматривает обязательное снижение давления газа с $12 \cdot 10^5$ – $5 \cdot 10^5$ Па перед пунктом до давления $0,03 \cdot 10^5$ – $0,025 \cdot 10^5$ Па после газорегуляторного пункта. Для снижения давления выполняется дросселирование, т.е. не совершается полезная работа, хотя данный перепад давления можно использовать в вихревом теплообменном аппарате, где в качестве теплоносителя используется природный газ.

Известно, что коэффициент полезного действия вихревой трубы на сжатом воздухе не превышает 12%, поэтому теплообменные аппараты, работа которых основана на принципе вихревого эффекта, используются преимущественно как холодильные устройства, а не для передачи тепла, т.к. требуются значительные энергетические затраты на получение высокотемпературного теплоносителя. Другое дело – природный газ, который с высоким давлением перемещается в газопроводах к газорегуляторным пунктам и далее с пониженным – к потребителям.

Проведём анализ возможности использования природного газа в системе отопления не как топлива, а как энергоносителя в теплообменном аппарате, выполненном в виде вихревой трубы. Согласно гипотезе взаимодействия вихрей, имеется два попутно друг с другом или встречно, в зависимости от условий завихрения, движущихся закрученных и термодинамически расслоенных на «холодный» осевой и «горячий» периферийный потоки, между которыми происходит как двусторонний обмен окружающим моментом количества движения, так и обмен тепловой энергией.

Теоретический анализ термодинамического расслоения движущегося газа в вихревой трубе исходит из предположения о завершённости процесса энергообмена на выходе из завихрителя, результатом которого является адиабатное распределение температурных градиентов по радиусу теплообменного аппарата [4].

В настоящее время особое внимание уделяется разработке и использованию как энергосберегающих технологий, так и оборудования, обеспе-

чивающего осуществление процессов с минимизацией затрат, в том числе и теплоты, для системы отопления производственных помещений [5]. При этом особое внимание уделяется совершенствованию теплообменных аппаратов путём интенсификации передачи теплоты от теплоносителя к обогреваемой среде – внутреннему воздуху помещения.

Одним из решений интенсификации теплообмена является использование в качестве теплообменника вихревой трубы с завихрителями в виде лопастей.

Рассмотрим характер движения в месте поворота лопасти завихрителя на входе в вихревую трубу элементарного объема теплоносителя в виде сжатого газа, движущегося со скоростью ω . Γ масса которого равна

$$dm_{\text{Б.Г}} = \rho d_f dz, \quad (1)$$

где d_f – площадь поперечного сечения элементарного объема;

dz – направление перемещения в данный момент;

ρ – плотность теплоносителя.

Элементарная центробежная сила, действующая на этот объект, составляет

$$\delta d_f dz \omega_{\text{Б.Г}}^2 / z, \quad (2)$$

где z – радиус поворота закручивающей лопасти.

Эта сила уравнивается разностью давления на гранях рассматриваемого объема:

$$dp = \left(\frac{dp}{dz} \right) d_f dz. \quad (3)$$

Проектируя все силы на направлении z по ходу движения теплоносителя, на основе принципа Даламбера, запишем:

$$d_f dz \omega / z - dp / dz d_f dz = 0,$$

откуда находим

$$\rho \omega_{\text{Б.Г}}^2 / z = dp / dz. \quad (4)$$

Так как давление по всему сечению должно быть постоянным, то изменение статического давления на основании уравнения Бернулли может происходить только вследствие изменения скоростного напора:

$$p + \rho \omega_{\text{Б.Г}}^2 / 2 = \text{const}. \quad (5)$$

Дифференцируя (5), получаем

$$dp / dz = -\rho \omega_{\text{Б.Г}} d\omega_{\text{Б.Г}} / dz \quad (6)$$

Подставив (6) в (4), получим

$$-\rho \omega_{\text{Б.Г}} d\omega_{\text{Б.Г}} / dz = \rho \omega^2 / z, \text{ или } \omega_{\text{Б.Г}} / z + \frac{d\omega_{\text{Б.Г}}}{dz} = 0. \quad (7)$$

Интегрируя (2.7), приходим к результату

$$z \omega_{\text{Б.Г}} = \text{const}. \quad (8)$$

Скорость движения обратно пропорциональна радиусу кривизны траектории частицы, и для теплоносителя трение дополнительно уменьшает их скорость около вогнутой удаленной поверхности закручивающей лопасти. В результате в «дальнем» углу поворота и у выпуклой стенки лопасти непосредственно за поворотом, образуется область вихревого закручивающего движения сжатого влажного газа, который при термодинамическом расслоении разделяется на «холодный» поток, насыщенный сконденсировавшейся в процессе охлаждения влагой и «горячий поток», смесь которых ударяется о поверхность закручивающей лопасти на входе в теплообменный аппарат.

Так как процесс тепломассообмена происходит в конкретном исследуемом элементе, перемещающемся под действием центробежных сил, на пятно жидкости при постоянном для данных условий давлении, то принимаем $c_p = \text{const}$:

$$m_{\text{см}} h_{\text{см}} = m_{\text{в.г}} h_{\text{в.г}} + m_{\text{ох}} h_{\text{ис}}, \quad (9)$$

$$h_{\text{см}} = g_1 h_{\text{в.г}} + g_2 h_{\text{ис}}, \quad (10)$$

где g_1, g_2 – массовые доли влажного газа на выходе из суживающегося сопла и в пограничном слое закручивающей лопасти при процессе испарения, кг.

$$h_{\text{см}} = C_{p_{\text{ж}}} T_{\text{см}}; \quad h_{\text{в.г}} = C_{p_{\text{в.г}}} T_{\text{в.г}}; \quad h_{\text{ис}} = C_{p_{\text{ис}}} T_{\text{ис}},$$

$$c_{p_{\text{ж}}} T_{\text{см}} = g_1 c_{p_{\text{в.г}}} T_{\text{в.г}} + g_2 c_{p_{\text{ис}}} T_{\text{ис}} \quad (11)$$

Тогда при $c_p = \text{const}$ имеем температуру смеси влажного газа после процесса конденсатно-испарительного тепломассообмена

$$T_{\text{см}} = \frac{g_1 c_{p_{\text{в.г}}} T_{\text{в.г}} + g_2 c_{p_{\text{ис}}} T_{\text{ис}}}{g_1 c_{p_{\text{в.г}}} + g_2 c_{p_{\text{ис}}}} \quad (12)$$

Полученное аналитическое выражение для температуры термодинамического расслоения смеси холодного и горячего потоков влажного газа позволяет прогнозировать параметры теплоносителя системы отопления производственного помещения.

Разработанная математическая модель процесса передачи теплоты в вихревом теплообменнике от закрученного потока природного газа к воздуху отапливаемого помещения стала основой создания принципиальной схемы размещения оборудования и устройств регулирования, обеспечивающих энергосберегающую технологию подачи энергоносителя потребителям с обеспечением требуемых параметров природного газа по влагосодержанию.

Список используемых источников:

1. Федоров С.С., Тютюнов Д.Н., Ключева Н.В. Управление системой отопления зданий с позиции ресурсосбережения // Строительство и реконструкция. 2013. №5. С. 36-40.
2. Федоров С.С., Ключева Н.В., Тютюнов Д.Н., Студеникина Л.И. К вопросу моделирования процесса управления системой теплоснабжения ресурсоэффективных зданий // Строительство и реконструкция. 2014. №1. С. 86-89.

3. Ключева Н.В., Колчунов В.И., Бухтиярова А.С. Ресурсоэнергосберегающая конструктивная система жилых и общественных зданий с заданным уровнем конструктивной безопасности // Промышленное и гражданское строительство. М.: ПГС, 2014. № 2. С. 37-40.
4. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике // Машиностроение. М. 1969.
5. Кобелев Н.С. Особенности теплообмена воздушных прослоек из панелей с внутренними криволинейными канавками // Известия Юго-западного государственного университета. Курск. №5. 2012.

© 2015, Федоров С.С., Сидоров И.Ю., Труханов И.П.,
Яргункин Д.В., Хазеев Т.Р.
Подходы к использованию энергии сжатого
природного газа как альтернативного источника
теплоснабжения

© 2015, Fedorov S.S., Sidorov I.Yu., Trukhanov I.P.,
Yargunkin D.V., Hazeev T.R.
Approaches to use of energy of the compressed
natural gas as alternative source of heat supply