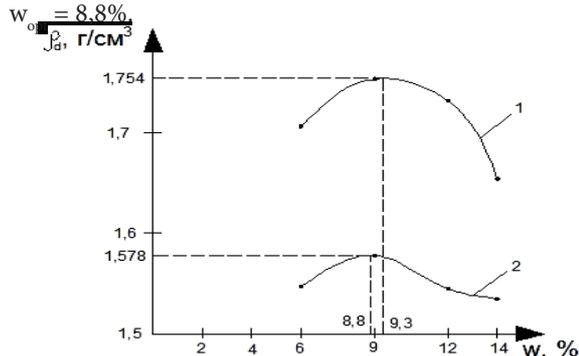


Таблица 4. Плотность скелета уплотненного грунта

Плотность скелета грунта, г/см <sup>3</sup>	Влажность грунта, %			
	6	9	12	14
по формуле Р. Проктора (1)	1,706	1,753	1,731	1,654
по формуле СоюзДорНИИ (2)	1,547	1,578	1,545	1,535

По данным таблицы 4 построены графики зависимости плотности скелета уплотненного грунта от влажности (рис. 5).

Анализ графиков зависимости показывает, что максимальная плотность уплотненного грунта полученная по формуле Р. Проктора  $\rho_{dmax} = 1,754 \text{ г/см}^3$  характерна для  $w_{opt} = 9,3\%$ , а по формуле СоюзДорНИИ максимальная плотность равная  $\rho_{dmax} = 1,578 \text{ г/см}^3$  соответствует  $w_{opt} = 8,8\%$ .



1 – по формуле Р. Проктора; 2 – по формуле СоюзДорНИИ

Рисунок 5. Графики зависимости плотности скелета уплотненного грунта от влажности

**Заключение.** Анализ результатов экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

Для грунтов с незначительным содержанием органического вещества характерно незначительное отличие в значениях оптимальной влажности, определенной как при помощи формулы Р. Проктора, так и по методу СоюзДорНИИ, но при этом разница между плотностями скелета достаточно велика. Это может объясняться тем, что в формуле Р. Проктора учитывается не только плотность частиц грунта, но и объемная доля воздушных пор.

Наличие органического вещества в грунтах не позволяет однозначно определить оптимальную влаж-

ность ( $w_{opt}$ ) по формуле Р. Проктора, так как характерно наличие двух значений  $w_{opt}$ , при этом максимальное значение  $\rho_d$  характерно для малых влажностей, при которых грунт будет уплотняться незначительно, а в некоторых случаях вообще может разуплотняться.

Что касается влияния содержания органического вещества составляющей на характер уплотнения грунтов, то следует отметить, что и в этом случае максимальной плотности скелета грунта можно достичь, но необходимо обеспечить повышенную влажность уплотняемых грунтов, т. е. 13% вместо 9%.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Труды СоюзДорНИИ. Уплотнение земляного полотна и конструктивных слоев дорожных одежд: Министерство транспортного строительства. СоюзДорНИИ, – М.: 1980. – 130с.
2. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006 (02250). Введ. 01.07.2006. – Минск.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006. – 68 с. Технический кодекс установившейся практики.
3. Обзор по материалам, размещенным на сайте Федеральной дорожной администрации США «Методы и приборы контроля качества строительства дорожных покрытий в США». – Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/control2>.
4. Межгосударственный стандарт. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности: ГОСТ 22733-2002. – Введ. 01.01.2006. – Минск: Минстройархитектуры РБ. – 2002. – 12 с.
5. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: ГОСТ 5180-84. – Введ. 01.07.1985. – Минск.: Минстройархитектуры РБ. – 1984. – 28 с.

Материал поступил в редакцию 30.03.17

KOZLOVSKY D.S., NATAROVA O.N. Peculiarities of methods for determining the optimum moisture content and the effect of the content of organic substances on the sealing processes of the road bed and the bases of road clothes

Features of determining the maximum density of soil containing organic substances.

УДК 541.162

В.С. Северянин

**ВИХРЕВЫЕ ПОТОКИ В УСТРОЙСТВАХ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ**

**Введение.** Известно интенсифицирующее влияние вихревых потоков на различные технологические процессы. Так, горение топлива в циклонных топочных устройствах позволяет повысить коэффициент полезности Северянин Виталий Степанович, д.т.н., профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

го действия топки, сократить габариты топочного объёма, удерживать высокий температурный уровень, расширить диапазон сжигаемого топлива по размерам горящих частиц, выходу летучих, зольности [1]. В сепарационных

аппаратах центробежного типа — от очистных пылеулавливающих устройств до обогащителей ядерного топлива — эффективность технологии обусловлена закономерностями вращающегося газового потока [2].

Известна также высокая плотность тепловыделения при пульсирующем горении, когда скорость реакции в диффузионном режиме задается нестационарным воздействием потока газа на топливо [3].

Представляет интерес проанализировать сочетание упомянутых двух качеств газового потока — вращательного и пульсирующего движения. Внимание к этому анализу обусловлено и усиливается тем, что существующие, действующие образцы камер пульсирующего горения (КПГ), являющиеся примером нового типа топочных устройств, ещё недостаточно полно описаны в опубликованных работах.

**Образцы анализируемых устройств.** Вследствие новизны метода целесообразно показать схематично рассматриваемый процесс в конкретном конструктивном исполнении.

Пульсирующее и вращательное течение представлено стрелками на рис. 1, где отражены типичные КПГ [4]. Обозначения: А — КПГ с циклоном, Б — тангенциальная КПГ, В — КПГ с циклонным аэродинамическим клапаном. В этих КПГ: 1 — форсунка (горелка), 2 — камера воспламенения, 3 — пусковая электросвеча, 4 — аэродинамический клапан, 5 — выхлопная резонансная труба, 3 — циклон. Эти КПГ — так называемые четвертьволновые (на длине от клапана до выхлопа — четверть звуковой стоячей волны; физика явления описана в [5]). В отличие от механических клапанов, аэродинамические допускают выхлоп в обратном направлении относительно основного течения газов (воздуха и продуктов сгорания). В КПГ воздух для горения поступает через клапан 4, удаление продуктов горения — через выхлопную резонансную трубу 5, это среднее течение сред, на которое накладываются пульсирующие. Поэтому в последующем анализе рассматривается вихрь в том участке устройства, где имеется вращательное движение газа (камера воспламенения, выхлопной циклон, аэродинамический клапан циклонного типа), на который наложены пульсации потока из резонансной трубы. Габаритные обозначения на рис. 1:  $d_{ци}$  — внешний диаметр циклона,  $d'_{ци}$  — выхлоп из циклона,  $d_{ак}$  — диаметр аэродинамического клапана,  $d'_{ак}$  — внешний кожух аэродинамического клапана;  $d_{рт}$  — диаметр резонансной трубы.

Изучение комбинированных (вращение и пульсации) потоков в нестационарных режимах огнетехнических устройств позволит рассмотреть возможность как добавочной интенсификации процесса горения, так и аэродинамического «запирания» выбросов против основного потока. Это относится к выхлопному циклону (поз. 6, схема А), камере воспламенения (поз. 2, схема Б), где идет процесс горения, и аэродинамическому клапану (поз. 4, схема В) — где реализуется вихревое «запирание» выхлопа.

**Линии тока.** Линия тока — это линия, касательная к которой в любой точке совпадает по направлению с вектором скорости движения газа в данный момент. Линия тока характеризует траекторию движения частицы газа, т. е. его взаимодействие с находящимися в нем частицами или молями тока.

Линию тока в рассматриваемом случае (вихрь) можно описать радиус-вектором  $r$ , повернутом на угол  $\varphi$  за время  $\tau$ , это логарифмическая спираль, где  $W_{m.p.} \cdot r^k = const$  [6]. Здесь и далее:  $W_m$  — тангенциальная составляющая скорости,  $W_p$  — радиальная;  $W_{om}^{cp}$  — среднерасходная начальная тангенциальная,  $W_{op}^{cp}$  — тангенциальная,  $W_{\tau}^a$  — амплитуда колебания тангенциальной,  $W_p^a$  — радиальной;  $\omega$  — угловая частота колебаний скорости потока.

Показатели степени  $k = 2(r - r') / (r_0 - r') - 1$  для квазипотенциальной зоны и  $k = -1$  для квазивязкого ядра ( $r$  — текущее значение,  $r_0$  — начальный, внешний радиус,  $r'$  — радиус аэродинамического клапана или резонансной трубы). Поэтому:

$$\begin{cases} W_m = (W_{om}^{cp} + W_m^a \sin \omega \tau)(r_0 / r)^k \\ W_p = (W_{op}^{cp} + W_p^a \sin \omega \tau)(r_0 / r)^k \\ r = r_0 \exp [\pm (V_{om}^{cp} + V_m^a \sin \tau)(r_0 / r)^k \operatorname{tg}(V_p / V_m) / r] \\ \varphi = (V_{om}^{cp} + V_m^a \sin \omega \tau) \tau / r \end{cases} \quad (1)$$

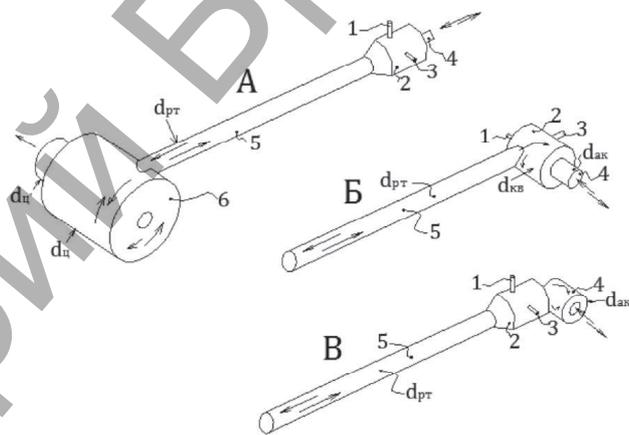


Рисунок 1

В качестве примера на рис. 2 показан результат расчета для  $r_0 = 0,2$  м;  $\omega = 314$  сек<sup>-1</sup>;  $W_{om}^{cp} = 50$  м/сек;  $W_m^a = 70$  м/сек;  $W_{op}^{cp} = 2$  м/сек;  $W_p^a = 1$  м/сек;  $r_{ак} = 0,04$  м. Начало движения — точка «0» радиус-вектора, направление — против часовой стрелки.

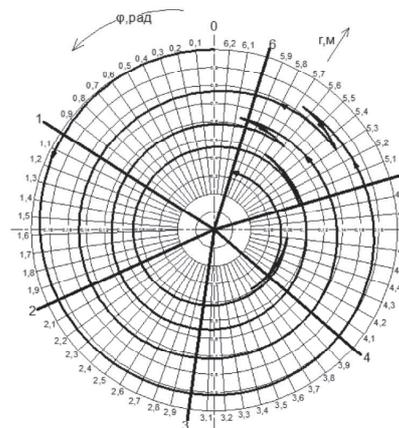


Рисунок 2

Расчёты показывают идентичность линий тока для разных условий (как конвергентные — сходящиеся, так и дивергентные — расходящиеся потоки, разные частоты, начальные и амплитудные скорости), т. е. всегда имеют участки с изменением траектории течения, перемен-

ной абсолютной скоростью. Это означает переменное воздействие потока как на частицу топлива, так и на газовые объёмы, что интенсифицирует теплообмен вдоль линии тока. На схемах А и Б рис. 1 представлено это вихревое пульсационное воздействие на поток. Схема В рис. 1 показывает вихревое действие выхлопа на аэродинамический клапан.

**Распределение давления.** Вихревое течение создаёт такое распределение в этом потоке, когда аэродинамика изменяет сопротивление потоку при перемене движения, т. е. прямое и обратное направление означает возникновение так называемого «вентильного эффекта», когда коэффициент аэродинамического сопротивления зависит от направления движения потока. Это даёт возможность «запирания» обратного потока (выхлопа) в устройствах пульсирующего горения, организовать аэродинамический клапан – устройство без движущихся конструктивных элементов, но перекрывающее в определённой доле поток среды при нежелательном выхлопе.

На рис. 3а представлен кольцевой слой движущегося по окружности газа (дифференциальный элемент вихря). На него действуют силы:

- а) наружу — центробежная «С»,
- б) внутрь — перепад давления  $\Delta P$  (от соседних слоёв).

На внешнюю поверхность кольца действует давление:

$$F_1 = (P + dP) \cdot S \cdot 2\pi (r + dr),$$

на внутреннюю:

$$F_2 = P \cdot S \cdot 2\pi r,$$

где  $dP$  – изменение давления по радиусу  $r$ .

Центробежная сила:  $C = \rho \cdot V / r \cdot W^2$ ,

$\rho$  – плотность среды,  $V$  – объём кольца,  $r$  – удаление массы от оси вращения,  $W$  – линейная скорость, т. е.:

$$C = \rho \cdot dP \cdot S \cdot 2\pi r W^2 / r,$$

Центробежная сила уравновешивается перепадом давления ( $F_1 - F_2$ ):

$$P \cdot dr \cdot S \cdot 2\pi \cdot W^2 = (P + dP) \cdot S \cdot 2\pi (r + dr) - P \cdot S \cdot 2\pi r,$$

$$P \cdot dr \cdot W^2 = (Pr + dP \cdot r + Pdr + dP \cdot dr - Pr).$$

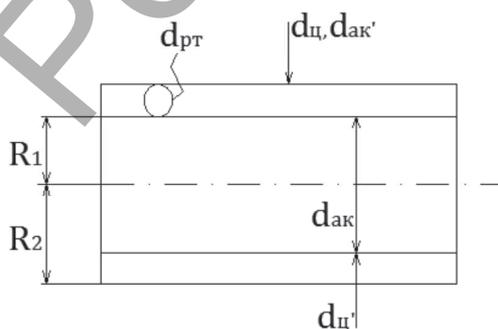
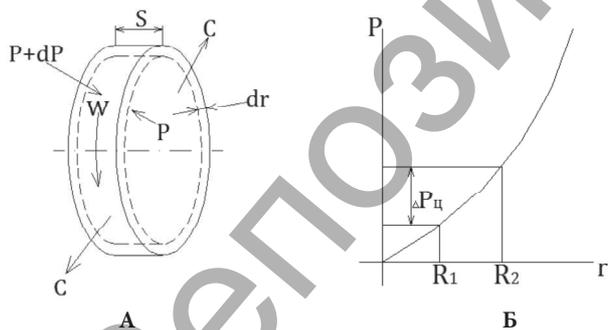


Рисунок 3

Выражением  $dP \cdot dr$  можно пренебречь (величина второго порядка малости), поэтому

$$P \cdot dr \cdot W^2 = dP \cdot r + \rho \cdot dr,$$

$$dr(\rho W^2 - P) = dP \cdot r,$$

$$dr/r = dP / (\rho W^2 - P).$$

Уравнение состояния газа:

$$\rho = P / GRT,$$

имеем дифуравнение:

$$\frac{dr}{r} = \frac{dP}{\frac{P}{gRT} W^2 - P} \quad (2)$$

интегрируя его получаем зависимость  $P$  от  $r$  при заданной скорости  $W$ :

$$\int \frac{dr}{r} = \int \frac{dP}{P \left( \frac{W^2}{gRT} - 1 \right)}$$

$$\ln r = \ln P \left( \frac{W^2}{gRT} - 1 \right)^{-1} + \ln C'$$

где  $C'$  – постоянная интегрирования.

$$\left( \frac{W^2}{gRT} - 1 \right) \ln r = \ln P + \ln C',$$

$$r \left( \frac{W^2}{gRT} - 1 \right) = P \cdot C'$$

Граничные условия: при  $W = 0$  будет  $P = 1$  кг/см<sup>2</sup>, поэтому  $C' = r^{-1}$ , и распределение по радиусу:

$$P = r^{W^2/gRT} \quad (3)$$

Зависимость (3) в общем виде показана на рис. 3б.

Перепад давления («запирание» в вихре) находится определённым интегрированием (рис. 3б):

$$\Delta P = R_2^{W^2/gRT} - R_1^{W^2/gRT} \quad (4)$$

$W_{1,2}$  могут быть заданы вышеприведёнными зависимостями (1).

Очевидно (4), что чем больше толщина вращающегося слоя, чем больше диаметр резонансной трубы  $d_{PT}$  или аэродинамического клапана  $d_{AK}$  приближается к диаметру циклона  $d_{ц}$  или камеры воспламенения  $d_{KB}$  (рис. 3в), тем существеннее запирающее действие.

Таким образом, чтобы выхлопной циклон не представлял большого аэродинамического сопротивления для создающей напор КПП, нужно диаметр выхлопа из циклона (поток газа по оси) выполнять как можно увеличенным, приближая его к  $d_{ц}$ . В цилиндрическом аэродинамическом клапане — наоборот: его диаметр  $d_{AK}$  должен быть как можно меньше диаметра внешнего кожуха  $d'_{AK}$ . Однако эти аэродинамические предпочтения не всегда совпадают с конструктивными и режимными требуемыми условиями. Поэтому в каждом конкретном случае необходим технологический анализ по изготовлению и действию устройств с рассматриваемым комбинированным топочным процессом.

**Оценка величины запирающего действия вихря.** При повышении давления в КПП (положительная фаза колебаний) часть газа идет в резонансную трубу, часть — в аэродинамический клапан, поэтому:

$$\begin{cases} F_{AK} \cdot w + F_{PT} \cdot w_{PT} = Q_{г} \\ \Delta P_{AK} = \Delta P_{PT} \end{cases} \quad (5)$$

где  $F_{AK,PT}$  – сечения,  $w$  – скорость в них,  $Q_2$  – общий расход газа (продуктов сгорания),  $\Delta P$  – движущие перепады давления.

Поток на АК преодолевает сопротивление:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{в}} + H_{\text{д}},$$

где  $\Delta P_{\text{в}}$  – «вентильный» эффект,  $H_{\text{д}}$  – динамический напор входящего в АК воздуха (газа). Следовательно:

$$\Delta P_{AK} = 16^4 [R_2^{w_2^2/gRT} - R_1^{w_1^2/gRT}] + w_{\text{вх}}^2 / 2 \cdot \rho_{\text{в}}.$$

Сопротивление газов на RT:

$$\Delta P_{PT} = \zeta_{PT} \cdot w_{PT}^2 / 2 \cdot \rho_{\text{г}},$$

где  $\rho_{\text{в,г}}$  – плотность воздуха, газов.

По предыдущим зависимостям (4, 5) имеем:

$$F_{AK} W + F_{PT} \sqrt{10^4 \cdot \frac{2}{\rho_{\text{г}}} \left[ R_2 \frac{w_2^2}{gRT} - R_1 \frac{w_1^2}{gRT} \right]} + W^2 \frac{\rho_{\text{г}} \cdot \zeta}{\rho_{\text{в}}} = Q_2 \quad (6)$$

Так как поток на АК образован резонансной трубой, принимаем одинаковые скорости по ее сечению, тогда  $w_1 = w_2 = w$ .

Скорость на АК численно определена для следующих условий (реальные КПП):

$$F_{AK} = 0,00628 \text{ м}^2; F_{PT} = 0,00785 \text{ м}^2; R_1 = 0,002 \text{ м}; R_2 = 0,06 \text{ м}.$$

Общий расход газа  $Q_2 = V_2^0 \cdot B \cdot T / 213 = 4,71 \cdot 360 \cdot 1893 / 273 = 11\,900 \text{ м}^3/\text{час}$  при расходе топлива  $B = 360 \text{ кг}/\text{час}$ ;  $t_0 \approx 100 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $t_2 \approx 500 \text{ }^\circ\text{C}$  (с учетом разбавления холодным воздухом),  $W_{AK} = 73,6 \text{ м}/\text{с}$ ,  $\zeta = 0,445$ .

Решение (6) по этим выкладкам дает  $W = 195 \text{ м}/\text{с}$ . Тогда запирающее действие аэродинамического клапана с вихревым течением по (4), (рис. 3в):

$$\Delta P_{\text{в}} = 0,06^{195^2/9,8 \cdot 29,773} - 0,02^{195^2/9,8 \cdot 29,773} \approx 0,103 \text{ кг}/\text{см}^2$$

$$\Delta P_{\text{в}} \approx 0,1 \text{ атм}.$$

Часть длины перемещения газа в клапане принимается равной величине  $A$  акустического смещения в стоячей волне резонансной трубы КПП:

$$P = wpcA,$$

где  $P$  – амплитуда переменного давления, принимаем  $P = \Delta P_{\text{в}}$ ;  $w$  – угловая частота (замерено),  $f = 73 \text{ гц}$ :

$$W = 2\pi f = 457 \text{ г}/\text{сек},$$

$pc$  – акустическое сопротивление (плотность на скорость звука),  $pc = 16 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{сек})$ .

Полное смещение (суммарное движение) равно сумме длины за счет скорости  $w$  и акустического смещения  $A$ :

$$l = \left( \frac{W \cdot 100}{2f} + A \right) \text{ см} = \frac{195 \cdot 100}{2 \cdot 73} + \frac{P}{wpc} = 133 + 15 = 148 \text{ см}.$$

Газ в циклоне делает оборотов:

$$n = l / l_{\text{ср.ц}},$$

$l_{\text{ср.ц}}$  – средний путь в циклоне по усредненному диаметру (наружный 12 см, внутренний 4 см),  $l_{\text{ср.ц}} = \pi d_{\text{ср}} = \pi(12 + 4) / 2 = 8\pi$ .

Тогда  $n = 148 / 8\pi = 5,8$  оборотов.

Таким образом, запирающее действие вихря при данной конструкции и режиме работы КПП обеспечено.

**Использование метода.** Вышеприведенная информация позволяет определить одно из направлений интенсификации топочных процессов – комбинированное воздействие на факел вращательного и пульсирующего режимов течения газового потока, а так же усиление акустических свойств объема топки. Некоторые из нижеприведенных примеров устройств реализованы практически

с высоким технологическим результатом, некоторые находятся на стадии патентных заявок и патентных описаний. Эти разработки могут быть использованы в различных отраслях – в энергетике различных масштабов, коммунальной технике в виде как теплогенераторов, так и в виде огневых утилизаторов, на транспорте, авиации, в нефтехимической промышленности и т. д.

На Мозырском нефтеперерабатывающем заводе до введения глубокой переработки нефти образовалось большое количество отходов и нефтешлам. Было необходимо эти горючие вещества утилизировать. Для этого были разработаны установки ГУК-1 и ГУК-2 – горелки унифицированные комбинированные. Они действовали по схеме рис. 1А. На КПП подавалось соляровое топливо, в циклон – нефтешлам. Продукты сгорания предполагалось подавать на технологическую линию завода. Расход топлива соляр/шлам – 10 кг/час / 200 кг/час. Недожоги отсутствовали (разработки НПО «КРОНТЕХ» и НИЛ «ПУЛЬСАР» Брестского государственного технического университета).

Циклонная топка по такой же аэродинамической схеме была создана [7] для сжигания жидких отходов и аналогичная топка – для твердых [8]. Для реализации кругового вращения в циклоне с целью усиления вихревого эффекта использовались воздухоохлаждаемые топочные лопасти [9]. Такое решение привело к созданию высокоэффективного инсинератора. Огнеупорная футеровка в циклоне повысила надежность установки при высоком температурном уровне [10]. В устройстве по [11] КПП охлаждалась внешним теплообменником (подогрев обрабатываемой жидкости). Во всех упомянутых схемах применялись КПП на жидком топливе (соляр), выхлоп газов – по оси циклона или по касательной. В некоторых установках аэродинамический клапан играл так же роль воздушного инжектора. Эти работы подтвердили возможность создания высокоэффективной технологии обработки различных материалов (распыление и сушка пищевых продуктов, бумаги, текстиля, фармацевтики и т.п., огневое обезвреживание различных веществ), что было предсказано рядом исследователей [12].

#### Заключение.

1. Анализ вращательного и пульсирующего течения газов при их сочетании в конкретных топочных устройствах объясняет интенсифицирующее влияние на топочный процесс, а в организации аэродинамического режима с пульсациями вихревые движения могут играть роль клапанов.

2. Комбинация камер пульсирующего горения с циклонными топками позволяет создать высокоэффективные агрегаты для теплотехнических приложений, благодаря усилению теплообмена в вихревом пульсирующем потоке.

3. Клапанные системы с движущимися элементами можно заменять надежными аэродинамическими вентильными элементами с вихревым круговым или спиральным течением газа (воздуха), без подвижных механических частей.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Combustion technology. Some modern developments / Edited by B. Palmer and J. Beer. Academic press. – New York, 1974. – 455 p.

2. Фукс, Н.А. Механика аэрозолей. М.: Изд. АН СССР, 1955. – 350 с.

3. Раушенбах, Б. Вибрационное горение. М.: Физматгиз, 1961. – 502 с.  
 4. Попов, В.А. Технологическое пульсационное горение. М.: Энергетика, 1993. – 317 с.  
 5. Северянин, В.С. Физика устройства пульсирующего горения // Вестник БрГТУ. – Брест, 2015. – №2. – С. 43–46.  
 6. Ушаков, С.Г. Инерционная сепарация пыли. М.: Изд. Энергия, 1974. – 170 с.  
 7. Северянин, В.С. Циклонная топка. Пат. РБ №976-У, F23c11/04, 2003.  
 8. Северянин, В.С. Устройство для термического обезвреживания отходов / В.С. Северянин, М.Г. Горба-

чева, И.А. Черников // Пат. РБ №2030-У, F23G5/00, 2004.  
 9. Северянин, В.С. Инсинератор / В.С. Северянин, А.Л. Тимошук, В.В. Кузьмич // Пат. РБ №5216-У, F23G5/00, 2008.  
 10. Лариошин, В.В. Способ сжигания топлив / В.В. Лариошин, В.Д. Ельшов, В.С. Северянин // Пат. РБ №3337-С1, F23G11/04, 2000.  
 11. Северянин, В.С. Циклонная топка / В.С. Северянин, В.Г. Новосельцев, Д.В. Новосельцева // Пат. РБ №7761-У, F23c15/00, 2011.  
 12. Bendre, A. Drying Amplified by High-Frequency, Sonic Energy. Gas Research Institute Digest. – USA, 1991. – P. 23-24.

Материал поступил в редакцию 28.03.17

**SEVERYANIN V. S. Whirlwind Streams in Puls Combustion Installation**

New principle of puls and whirlwind combination is presented in this article for using in high effective furnace process. Gas movement, aerodynamic peculiarities, some types of construction are learned. Various applications of method are recommended for furnace technics.

УДК 697.1, 697.9, 699.86

**В.Г. Новосельцев, Д.В. Новосельцева**

**ИЗМЕНЕНИЯ В НОРМАТИВНОЙ БАЗЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ**

**Введение.** В Брестской области в последние годы построено достаточно много энергоэффективных домов, из них четыре энергоэффективных жилых дома с механической системой вентиляции с утилизаторами теплоты. Весьма актуальным является исследование эксплуатационного энергопотребления в таких домах и сравнение его с проектными данными, для чего необходимо четко представлять, какие нормативные документы действовали на момент проектирования таких домов.

**Основные изменения нормативной базы.** Нормативное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций в соответствии с [1] (утвержденных 29 декабря 2006 года) составляло:

- наружные стены – 2-2,5 м<sup>2</sup>·°C/Вт;
- совмещенное покрытие – 3 м<sup>2</sup>·°C/Вт;
- перекрытие над подвалом – по расчету;
- заполнение световых проемов – 0,6 м<sup>2</sup>·°C/Вт.

Нормативное сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций в соответствии с изменением №1 к [1] (утвержденных с 1 июня 2009 года) составляло:

- наружные стены – 3,2 м<sup>2</sup>·°C/Вт;

**Таблица 1.** Нормативные значения  $q_{red}^h$  удельного расхода тепловой энергии за отопительный период на отопление жилых и общественных зданий МДж/м<sup>2</sup> (кВт·ч/м<sup>2</sup>) или МДж/м<sup>3</sup> (кВт·ч/м<sup>3</sup>), без рекуперации тепла

Тип здания	Нормативное значение $q_{red}^h$ при этажности зданий						
	1-3	4	5	6	7	9	12 и выше
1 Жилые здания, гостиницы, общежития, МДж/м <sup>2</sup> (кВт·ч/м <sup>2</sup> )	344 (96)	196 (55)	187 (53)	182 (51)	178 (50)	174 (49)	172 (48)

**Новосельцев Владимир Геннадьевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

**Новосельцева Дина Владимировна**, к.т.н., доцент, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267