

Проведя общую оценку работоспособности разработанной нами объемной гидромашины, можно отметить:

– экспериментальная производительность разработанной нами гидромашины значительно отличается от теоретически рассчитанной, что обусловлено утечками через зазоры в плунжерных парах;

– увеличение степени точности при изготовлении основных деталей гидромашины позволит приблизить реальный КПД к теоретически рассчитанному, однако желательно использовать угольниковую гидромашину только в системах смазки.

### *Список литературы*

1. Угольниковая передача : пат. 60662 Рос. Федерация. – № 2006122962/22 ; заявл. 27.06.2006 ; опубл. 27.01.2007, Бюл. № 3.
2. Угольниковая передача : пат. 95051 Рос. Федерация. – № 2009146433/22 ; заявл. 14.12.2009 ; опубл. 10.06.2010, Бюл. № 16.
3. Объемная гидромашина : пат. 65582 Рос. Федерация. – № 2007100398/22 ; заявл. 09.01.2007 ; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 22.
4. Объемная гидромашина : пат. 81268 Рос. Федерация. – № 2008140488/22 ; заявл. 13.10.2008 ; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 7.
5. Карбаинова, С.Н. Расчет конструктивных параметров угольниковой объемной гидромашины / С.Н. Карбаинова, А.А. Дегтярев, Г.В. Редреев // Ом. науч. вестн., Сер. Приборы, машины и технологии. – № 3(93). – ОмГТУ, 2010. – С. 94–96.

### SUMMARY

*S.N. Karbainova, A.A. Degtyarev, G.V. Redreev*

#### **Experimental studies of volume hydraulic machine based on the angle gear**

The paper presents the results of experimental studies of volume hydraulic machine based on the angle gear. Determined by the friction losses without external loading, the actual performance of the hydraulic machine.

*Key words:* angle gear, intermediates, an intrinsic bend angle, friction loss, performance.

УДК 637.1:628.83

*П.А. Лисин, Е.А. Молибога, Д.Б. Мартемьянов*

#### **ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ В ЦИКЛОННЫХ АППАРАТАХ**

Процесс пылеочистки в циклоне определяется аэродинамическими и конструктивными параметрами аппарата.

*Ключевые слова:* пылеулавливание, циклонные аппараты, воздушный поток.

Важную роль в данном процессе играет установление закона изменения величины разрежения и тангенциальной скорости потока в произвольном поперечном сечении конической части циклона. Исследования процесса пылеулавливания в циклоне основаны на трех законах [1, 2].

*Первый* – закон сохранения расхода: количество жидкости, прошедшей через площадь в секунду, то есть массовый расход, остается постоянным по всей трубке потока.

*Второй* – закон неизменности момента количества движения: произведение скорости вращения воздушного потока  $v_{\text{вр}}$  на радиус вращения  $R$  сохраняется постоянным от одной струйки воздуха к другой. Вращающийся газовый поток – это «антикарусель»: чем меньше радиус вращения, тем больше скорость.

*Третий* – закон сохранения энергии единицы объема газового потока (уравнение Бернулли): в установившемся движении идеальной жидкости сумма потенциальной энергии единицы объема, то есть давления и кинетической энергии, обусловленная скоростью, сохраняется постоянной вдоль струйки потока.

Для установления данного закона принимаем, что воздушный поток есть однородная газовая среда, имеющая скорость  $v$ , давление  $p$  и плотность  $\rho$ .

Геометрические размеры циклонного аппарата представлены на рисунке. Обозначим за  $Z$  – ось циклона, пусть начало координат расположено в основании аппарата в точке  $O$ . Проведем через точки  $ABCDM$  плоскость, перпендикулярную оси циклона, в сечении имеем круг радиусом  $R_{cm}$  ( $R_{cm}$  изменяется от  $R_2$  до  $R$ ), обозначим переменный радиус –  $r$  (от  $0$  до  $R_{cm}$ ). Высоту поперечного сечения конуса – за  $Z_1$ . Угол между образующей конуса и осью циклона –  $\gamma$ .

Исходя из представленного рисунка, выведем ряд соотношений.

$$\operatorname{tg}(\gamma) = \frac{R - R_2}{H_K} \Rightarrow \gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{R - R_2}{H_K} \right).$$

Из треугольника  $\Delta MDN$  (рисунок) следует

$$\operatorname{tg}(\gamma) = \frac{R_{cm} - R_2}{Z}.$$

Приравнявая значения  $\operatorname{tg}(\gamma)$  из первого и второго соотношения, получим

$$R_{cm} = R_2 + \frac{Z}{H_K} \cdot (R - R_2). \quad (1)$$

Тангенциальная (касательная) скорость  $\mathcal{G}_{\text{танг}} = \mathcal{G} \cdot \cos(\alpha)$  спирального потока подчиняется закону площадей, т. е.

$$\mathcal{G}_{\text{танг}} = \frac{L}{f}, \quad (2)$$

где  $L$  – объемный расход воздуха,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$f$  – площадь элементарного потока,  $\text{м}^2$ .

Площадь потока определим по формуле

$$\int_0^f df = a \cdot r \cdot \int_{R_{cm}}^R \frac{dr}{r} \Rightarrow f = a \cdot r \cdot (\ln R - \ln R_{cm}).$$

Или

$$f = a \cdot r \cdot \ln(R / R_{cm}), \quad (3)$$

где  $a$  – высота спирального потока,  $\text{м}$ ;

$R$  – радиус циклона,  $\text{м}$ ;

$R_{cm}$  – радиус конической пристенной части циклона,  $\text{м}$ ;

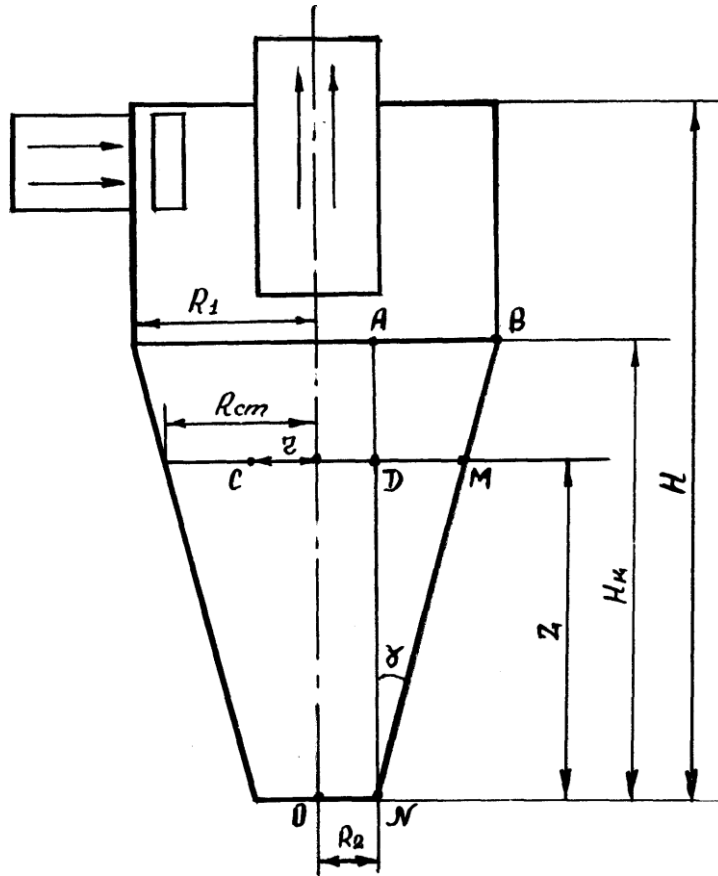
$r$  – переменный радиус в произвольной точке,  $\text{м}$ .

Движение воздушного потока в кольцевом пространстве циклона является установившимся безвихревым циркуляционным потоком. Определим связь между скоростью, давлением и плотностью воздуха в произвольной точке спирального (вихревого) потока, для этого используем интеграл Д. Бернулли

$$\frac{\mathcal{G}^2}{2} + \int_{P_{cm}}^P \frac{dP}{\rho} = \text{const}. \quad (4)$$

Принимаем касательный подвод воздушного потока в циклон при угле наклона входного патрубка  $\alpha_1 = 0$ , следовательно,  $\cos(\alpha_1) = 1$  и  $\mathcal{G} = \mathcal{G}_{танж}$ . При изотермическом процессе очистки воздуха согласно уравнению состояния идеального газа имеем

$$\frac{\rho}{\rho_{cm}} = \frac{P}{P_{cm}} \Rightarrow \rho = \rho_{cm} \cdot \frac{P}{P_{cm}}. \quad (5)$$



Расчетная схема циклонного аппарата

Подставим  $\rho$  из (5) в (4)

$$\frac{\mathcal{G}^2}{2} + \frac{P_{cm}}{\rho_{cm}} \int_{P_{cm}}^P \frac{dP}{P} = C_0. \quad (6)$$

Вычисляя интеграл (6), получим

$$\frac{\mathcal{G}^2}{2} + \frac{P_{cm}}{\rho_{cm}} \cdot \ln\left(\frac{P}{P_{cm}}\right) = C_0. \quad (7)$$

Постоянную интегрирования  $C_0$  определим из граничных условий  $P = P_{cm}$ ,  $v = v_{cm}$  при  $r = R_{cm}$ , тогда

$$C_0 = \frac{\mathcal{G}_{cm}^2}{2}. \quad (8)$$

Из формулы (2) следует

$$\mathcal{G}r = C_0 = \mathcal{G}_{cm} R_{cm} \Rightarrow \mathcal{G} = \frac{\mathcal{G}_{cm} R_{cm}}{r}. \quad (9)$$

Подставив значение скорости потока из (9) в уравнение (7), получим

$$\frac{1}{2} \left( \frac{g_{cm} R_{cm}}{r} \right)^2 + \frac{P_{cm}}{\rho_{cm}} \cdot \ln \left( \frac{P}{P_{cm}} \right) = \frac{g_{cm}^2}{2}. \quad (10)$$

Преобразуем выражение (10), получим зависимость

$$P = P_{cm} \cdot \exp \left[ \frac{g_{cm}^2 \cdot \rho_{cm}}{2 \cdot P_{cm}} \left( 1 - \frac{R_{cm}^2}{r^2} \right) \right], \text{ Па.} \quad (11)$$

Зависимость (11) характеризует изменение величины давления в циклоне по продольному радиусу – от стенки корпуса  $R_{cm}$  до радиуса  $r$  (рисунок).

Проанализируем зависимость (11). Рассмотрим два случая.

*Первый*, при котором  $r = R_{cm}$ , в этом случае  $P = P_{cm}$ , давление на поверхности конической части определяется пристенным значением  $P_{cm}$ .

*Второй*, при  $r \rightarrow 0$ , т. е. при приближении радиуса  $r$  к центральной оси циклона величина давления в этом случае асимптотически приближается к положительной бесконечности, что практически не реализуемо и такое состояние характеризует ограниченное применение формулы (11) в области осевой части циклона.

Изменение разрежения воздуха в поперечном сечении конической части циклона на основании формулы (11) запишем в виде

$$P(r) = P_{cm} \cdot \exp \left[ - \frac{g_{cm}^2 \cdot \rho_{cm}}{2 \cdot P_{cm}} \left( 1 - \frac{R_{cm}^2}{r^2} \right) \right], \text{ Па.} \quad (12)$$

Тангенциальная, пристенная, скорость воздушного потока в поперечном сечении конической части циклона определяется из формулы (11) по зависимости

$$g_{cm} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{cm} \cdot \ln \frac{P}{P_{cm}}}{\rho_{cm} \cdot \left( 1 - \frac{R_{cm}^2}{r^2} \right)}}, \text{ м/с.} \quad (13)$$

При разрежении воздуха в циклоне тангенциальная скорость воздушного потока согласно формуле (12) будет равна

$$g_{cm} = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{cm} \cdot \ln \frac{P}{P_{cm}}}{\rho_{cm} \cdot \left( \frac{R_{cm}^2}{r^2} - 1 \right)}}, \text{ м/с.} \quad (14)$$

При подстановке в формулу (14) выражения (9) получим зависимость тангенциальной скорости потока от перечисленных величин

$$g(r) = g_{cm} \cdot \frac{R_{cm}}{r} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{cm} \cdot \ln \frac{P}{P_{cm}}}{\rho_{cm} \cdot \left( \frac{R_{cm}^2}{r^2} - 1 \right)}}, \text{ м/с.} \quad (15)$$

После преобразования формула (15) запишется в виде

$$g(r) = g_{cm} \cdot R_{cm} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot P_{cm} \cdot \ln \frac{P}{P_{cm}}}{\rho_{cm} \cdot (R_{cm}^2 - r^2)}}, \text{ м/с.}$$

Если вместо  $R_{cm}$  подставить в (15) соотношение (1), получим формулу для расчета тангенциальной скорости воздушного потока в поперечном сечении конической части циклона в зависимости от высоты сечения аппарата  $Z$  и переменного радиуса  $r$

$$g(Z, r) = g_{cm} \left[ R_2 H_k + Z(R - R_2) \right] \sqrt{\frac{2 P_{cm} (\ln P - \ln P_{cm})}{\rho_{cm} \{ [R_2 H_k + Z(R - R_2)]^2 - r^2 \}}}. \quad (16)$$

При подстановке в формулу (16) значения  $r = 0$  (ось циклона) максимальная тангенциальная скорость потока будет рассчитываться по формуле

$$g = g_{cm} \cdot \sqrt{\frac{2P_{cm}(\ln P - \ln P_{cm})}{\rho_{cm}}}, \text{ м/с.} \quad (17)$$

Таким образом, измеряя пьезометром разрежение  $P$  и  $P_{cm}$  в зависимости от радиуса  $r$ , можно рассчитать по формуле (16) теоретическую тангенциальную скорость потока в поперечном сечении при высоте сечения  $Z$  и переменном радиусе  $r$ . Фактическая тангенциальная скорость потока устанавливается экспериментальным путем, может быть рассчитана по формуле (15) или формуле (16) путем введения поправочного, опытным путем установленного коэффициента.

Обобщенная формула расчета величины разрежения в поперечном сечении конуса в зависимости от  $Z$  и  $r$  запишется в виде

$$P(Z, r) = P_{cm} \exp\left\{-\frac{g^2 r^2 \rho_{cm}}{2R_{cm}^2 P_{cm}} \left[1 - \frac{[R_2 H_{\kappa} + Z(R - R_2)]^2}{[r H_{\kappa}]^2}\right]\right\}. \quad (18)$$

Зависимость (18) учитывает параметр  $Z$  – высоты сечения, в котором строится эпюра разрежений, а также геометрические параметры циклона – радиус циклона ( $R$ ) и высоту конической части аппарата ( $H_{\kappa}$ ). Разбивая высоту конуса на равные отрезки (переменная  $Z$ ), можно построить эпюры в заданной плоскости.

Скорость в ядре вихря – центральной оси аппарата будет равна

$$v(0) = \sqrt{\frac{2 \cdot P_{cm} \cdot \ln(P / P_{cm})}{\rho_{cm}}}. \quad (19)$$

Из формулы (19) следует, что скорость потока в осевой части циклона не зависит от высоты поперечного сечения  $Z$  и конструктивных параметров конической части аппарата. Ядро вихря имеет постоянную и максимальную скорость газового потока по оси аппарата (при стационарном режиме пылеочистки). Преобразуя выражение (19), имеем

$$\frac{\rho_{cm} v_{(o)}^2}{2} = P_{cm} \ln\left(\frac{P}{P_{cm}}\right). \quad (20)$$

Умножим левую и правую часть выражения (20) на массу воздушного потока –  $m$ , получим выражение для расчета кинетической энергии ядра потока

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{m}{\rho_{cm}} P_{cm} \ln\left(\frac{P}{P_{cm}}\right) \Leftrightarrow E = VP_{cm} \ln\left(\frac{P}{P_{cm}}\right). \quad (21)$$

Исходя из газового уравнения Менделеева – Клапейрона (уравнения состояния газа  $PV = RT$ ), кинетическую энергию потока (при массе потока  $m = 1$  кг) рассчитывают

$$E = RT \cdot \ln\left(\frac{P}{P_{cm}}\right), \text{ Дж,} \quad (22)$$

где  $R$  – газовая постоянная для воздуха  $R = 287$  Дж/(кг·К);

$T$  – температура газового потока, К;

$P$  – давление потока в ядре вихря, Па;

$P_{cm}$  – давление потока в пристенной части циклона, Па.

В результате теоретических исследований получены математические модели, учитывающие аэродинамические и конструктивные параметры процесса пылеулавливания. Зависимость (22) позволяет рассчитать кинетическую энергию воздушного потока процесса пылеулавливания в циклоне.

#### Список литературы

1. Лисин, П.А. Циклонная очистка воздуха : теория и практика / П.А. Лисин, В.Л. Иванов, А.П. Мусатенко. – Омск : Изд-во ОмГАУ, 2000. – 94 с.

2. Штокман, Е.А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности / Е.А. Штокман. – М. : Пищевая промышленность, 2000. – 296 с.

### SUMMARY

*P.A. Lisin, E.A. Moliboga, D.B. Martemyanov*

#### **Power assessment of process of pyleulavlivany in cyclonic devices**

Process of a pyleochistka in a cyclone is defined by aerodynamic and design data of the device.

*Key words:* pyleulavlivany, cyclonic devices, air stream.

УДК 337.1

*Н.Б. Гаврилова, Е.И. Петрова, Н.Л. Чернопольская*

### **БИОТЕХНОЛОГИЯ ПРОДУКТА ДЛЯ СПОРТИВНОГО ПИТАНИЯ**

Создание и производство инновационных продуктов питания для людей, активно занимающихся спортом, фитнесом, часто связаны с высокими технологиями [4].

Все продукты спортивного питания – с научно обоснованным и точно выверенным составом, произведены при соблюдении современных производственных технологий и норм на новейшем оборудовании.

*Ключевые слова:* биотехнология, ферментация, гидролиз сывороточных белков, закваски в иммобилизованной форме.

#### **Введение**

Основной белковой структурой для изготовления продуктов спортивного питания являются белки молока в различной форме белковой фракции – казеины и сывороточные белки. Именно молочный является наиболее сбалансированным видом белка по аминокислотному профилю и степени биологической ценности. Он равномерно переваривается и усваивается в течение длительного времени (до 6–7 ч), причем сначала низкомолекулярные белки сыворотки, затем высокомолекулярный казеин. Такое свойство молочного белка особенно важно при использовании в диетических целях и для восстановления мышц после физической нагрузки невысокой и средней интенсивности. Основным и главным различием этих фракций является скорость усвоения белка [2, 3].

Для производства продуктов на основе молочного белка используются следующие формы белковых соединений:

– концентраты сывороточных белков (50–90% белка в сухом продукте) – наиболее распространенная основа белковых продуктов спортивного питания;

– концентрированные гидролизаты сывороточных белков как источник свободных аминокислот и пептидов и др.

#### **Цель и методика исследований**

Цель экспериментально-аналитической работы – исследование процесса ферментации молочной нормализованной смеси с добавлением гидролизата сывороточных белков пробиотическими культурами закваски и разработка технологии ферментированного продукта для спортивного питания.

Использованы объекты:

– молоко-сырье не ниже 1-го сорта по ГОСТ Р 52054–2003;

– сухая молочная сыворотка по ГОСТ Р 53492–2009;