Жежера Николай Илларионович

ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ ГАЗОВ В СОЕДИНЕННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ПОРАХ В КРОШКЕ ИЗНОШЕННЫХ ШИН ПРИ ПИРОЛИЗЕ ПЕРЕМЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ В РЕАКТОРЕ

Выведены теоретические изменения давлений газов в порах, соединенных между собою и с основными потоками газа, в зависимости от переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов, подводимых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин. Установлено, что при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов, подводимых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин, непрерывно изменяются давления газов в порах, соединенных между собою и с основными потоками рециркулируемых газов. Подвод рециркулируемых газов в нижнюю часть реактора при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов способствует более интенсивному и равномерному пиролизу крошки изношенных шин в реакторе.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2013/4/18.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2013. № 4 (71). С. 66-70. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2013/4/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

$$G_2(t)=\frac{P_x(t)\cdot\alpha_2\cdot\omega}{\left(1+\omega^2T^2{}_1\right)\left(1+\omega^2T^2{}_2\right)}\cdot\left[T_2\left(1-\omega^2T_1T_2\right)\cos(\omega t)+T_2\omega\left(T_2+T_1\right)\sin(\omega t)+\right.$$

$$\left.+\frac{T_1T_2\left(1+\omega^2T^2{}_2\right)}{(T_2-T_1)}\cdot e^{-\frac{1}{T_1}t}+\frac{T^2{}_2\left(1+\omega^2T^2{}_1\right)}{(T_1-T_2)}e^{-\frac{1}{T_2}t}\right]. \qquad (16)$$

Если в выражении (16) $T_1 = T_2$, тогда кажется, что расход газов $G_2(t)$ уходит в бесконечно большую величину из-за знаменателей показателей степени при *e*. Нет, не уходит расход в бесконечное значение при $T_1=T_2$, а равен какому-то конкретному значению, потому что сумма следующих выражений равна нулю:

$$\frac{T_1T_2\left(1+\omega^2T^2{}_2\right)}{(T_2-T_1)}\cdot e^{-\frac{1}{T_1}t}+\frac{T^2{}_2\left(1+\omega^2T^2{}_1\right)}{(T_1-T_2)}e^{-\frac{1}{T_2}t}=$$

$$=\frac{T^2{}_1\left(1+\omega^2T^2{}_1\right)}{(T_1-T_1)}\cdot e^{-\frac{1}{T_1}t}-\frac{T^2{}_1\left(1+\omega^2T^2{}_1\right)}{(T_1-T_1)}e^{-\frac{1}{T_1}t}=0.$$

Если $T_2 = 0$, тогда расход $G_2(t)$ равен нулю потому, что отсутствует вторая емкость 5 в пневматической схеме, приведенной на Рисунке 2.

Из формул (5) и (16) следует, что расходы газов между порами и между порами и основными потоками рециркулируемых газов (Рисунок 2) изменяются в зависимости от переменной составляющей давления $P_x(t)$ перед сопротивлением 2 с проводимостью α_1 и частоты изменения давления ω. Если частота ω изменения переменной составляющей давления рециркулируемых газов равна нулю, тогда расход газов в пору (газовую полость) 2 и расход газов между порами 2 и 5 равен нулю. Только при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов, подводимых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин, непрерывно изменяются расходы газов между порами и между порами и основными потоками рециркулируемых газов. Подвод рециркулируемых газов в нижнюю часть реактора при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов способствует более интенсивному и равномерному пиролизу крошки изношенных шин в реакторе.

Список литературы

1. **Емцев Б. Т.** Техническая гидромеханика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 440 с.
2. **Жежера Н. И., Тямкин С. А., Сайденова Г. А.** Математическое описание реактора пиролиза изношенных шин как объекта автоматического управления по давлению газов // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 12. С. 33-36.
3. **Патент на изобретение № 2339510. РФ. Способ термической переработки изношенных шин и резинотехнических изделий.** Авторы изобретения Н. И. Жежера, С. А. Тямкин. Приоритет от 10.04.2007. Опубл. 27.11.2008. Бюлл. № 33.

УДК 678.4:658.567
Технические науки

Выведены теоретические изменения давлений газов в порах, соединенных между собою и с основными потоками газа, в зависимости от переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов, подводимых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин. Установлено, что при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов, подводимых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин, непрерывно изменяются давления газов в порах, соединенных между собою и с основными потоками рециркулируемых газов. Подвод рециркулируемых газов в нижнюю часть реактора при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов способствует более интенсивному и равномерному пиролизу крошки изношенных шин в реакторе.

Ключевые слова и фразы: пиролиз; крошка; изношенные шины; поры; рециркулируемые газы; переменное давление; расход; амплитуда; частота.

Жежера Николай Илларионович, д.т.н., профессор
Оренбургский государственный университет
nik-gegera@rambler.ru

ИЗМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ ГАЗОВ В СОЕДИНЕННЫХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ПОРАХ В КРОШКЕ ИЗНОШЕННЫХ ШИН ПРИ ПИРОЛИЗЕ ПЕРЕМЕННЫМ ДАВЛЕНИЕМ В РЕАКТОРЕ©

Упрощенная схема реактора, в котором проводится пиролиз изношенных автомобильных шин, приведена на Рисунке 1. В работах [2, с. 33; 3] предлагается автоматизацию процессов пиролиза изношенных шин проводить путем подвода в нижнюю часть реактора рециркулируемых газов при переменном давлении, которое периодически изменяется с заданной частотой и амплитудой.

© Жежера Н. И., 2013

В реакторе 1 находится крошка 2 изношенных шин, в которой имеются поры 3, соединенные случайным образом с потоками 4 рециркулируемых газов, подводимых в нижнюю часть реактора при переменном давлении с помощью системы автоматического регулирования давления. Поры в крошке изношенных шин могут непосредственно соединяться с линиями рециркулируемых газов, например, пора 3 с линией потока газов 4. Пора В соединяется с потоком рециркулируемых газов 4 только через пору А.

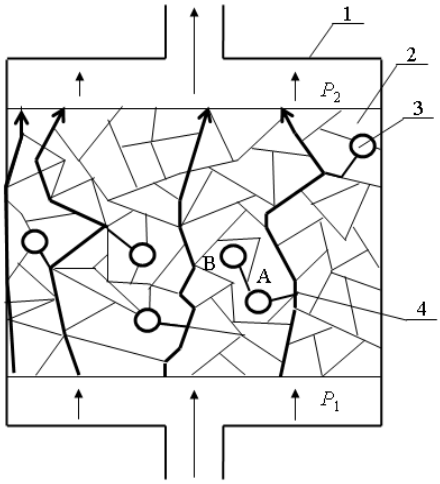

Рис. 1. *Схема расположения крошки изношенных шин, пор между крошками и потоков рециркулируемых газов в реакторе*

На Рисунке 2 приведена пневматическая схема взаимосвязи между основным потоком рециркулируемых газов 4 (Рисунок 1) и потоками газов в поры (газовые полости) А и В или из пор. На Рисунке 2 представлены: поток рециркулируемых газов 1 в крошке изношенных шин при пиролизе в реакторе, газовые полости (поры) 3 и 5, соединенные между собой и с газовым потоком 1 пневматическими сопротивлениями 2 и 4 с проводимостью α_1 и α_2.

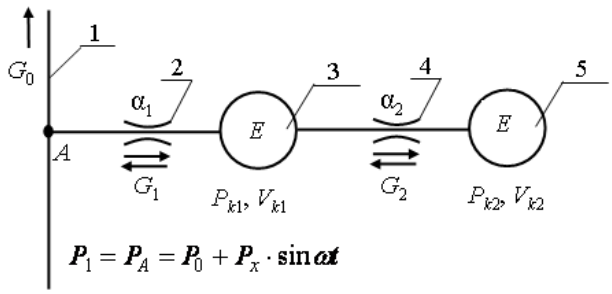

Рис. 2. *Пневматическая схема взаимосвязи между потоком рециркулируемых газов и двумя газовыми объемами полостей, расположенных в крошке изношенных шин в реакторе*

Рециркулируемые газы подаются в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин специальной системой автоматического управления под переменным давлением P_1, Па, которое определяется по выражению

$$P_1 = P_0 + P_x \cdot \sin \omega t, \quad (1)$$

где P_0 - статическая составляющая давления рециркулируемых газов, Па; $P_x \cdot sin\omega t$ - переменная составляющая давления рециркулируемых газов, Па; P_x, ω - амплитуда и частота переменной составляющей давления рециркулируемых газов, Па, $с^{-1}$; t – время, с.

Расход рециркулируемых газов G_1 через линейное пневматическое сопротивление 2 (Рисунок 2) проводимостью α_1 с учетом (1)

$$G_1 = \left(P_1 - P_{k1}\right) \cdot \alpha_1 = \left(P_0 + P_x \sin \omega t - P_{k1}\right) \cdot \alpha_1$$

или, после преобразования по Лапласу,

$$G_1(s) = \alpha_1 \cdot P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2 + \omega^2} - P_{k1}(s) \cdot \alpha_1, \quad (2)$$

где s – оператор Лапласа.

Для газовой полости 3 как пневматической емкости (Рисунок 2) уравнение Клапейрона – Менделеева имеет вид [1] $P_{k1}\ V_{k1} = m_{k1}\ R\ T$. Определяя из этого выражения массу газов, а затем дифференцируя изменения массы и давления газов в емкости по времени, получим

$$\frac{dm_{k1}}{dt} = \frac{V_{k1}}{RT} \cdot \frac{dP_{k1}}{dt}.$$

Так как $\frac{dm_{k1}}{dt} = G_1$, тогда $G_1 = \frac{V_{k1}}{RT} \cdot \frac{dP_{k1}}{dt}$.

Преобразуем это выражение по Лапласу: $G_1(s) = \frac{V_{k1}}{RT} \cdot s \cdot P_{k1}(s)$.

Определяем из этого выражения $P_{к1}$: $P_{k1}(s) = \frac{RT}{sV_{k1}} \cdot G_1(s)$. (3)

Из выражения (2) с учетом (3) получим

$$G_1(s) = \alpha_1 \cdot P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2} - \frac{RT}{sV_{k1}} \cdot G_1(s) \cdot \alpha_1$$

или $G_1(s) + \frac{RT}{sV_{k1}} \cdot G_1(s) \cdot \alpha_1 = \alpha_1 \cdot P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2}$. (4)

Определим давление $P_{к1}$ из выражений (3) и (4). Из выражения (4)

$$G_1(s) = \alpha_1 \cdot P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{s}\frac{RT}{V_{k1}} \cdot \alpha_1\right)}.$$

Выполним подстановку этого выражения в (3).

$$P_{k1}(s) = \frac{1}{s} \cdot \frac{RT}{V_{k1}} \cdot \alpha_1 \cdot P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{s}\frac{RT}{V_{k1}} \cdot \alpha_1\right)} = P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{s}\frac{RT}{V_{k1}} \cdot \alpha_1\right)}\right].$$

Принимаем, как и выше, $\frac{V_{k1}}{\alpha_1 \cdot RT} = T_1$ или $\frac{1}{T_1} = \frac{RT}{V_{k1}} \cdot \alpha_1$, тогда

$$P_{k1}(s) = P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \left[1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{T_1}\right)}\right] = P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \left[1 - \frac{sT_1}{(sT_1+1)}\right] = \quad (5)$$

$$= P_x(s) \cdot \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \left[1 - \frac{s}{\left(s + \frac{1}{T_1}\right)}\right] = P_x(s) \cdot \left[\frac{\omega}{s^2+\omega^2} - \frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{s + \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_1}}{\left(s + \frac{1}{T_1}\right)}\right] =$$

$$= P_x(s) \cdot \left[\frac{\omega}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{1}{T_1} \cdot \frac{1}{s + \frac{1}{T_1}}\right] = P_x(s) \cdot \frac{\omega}{T_1} \cdot \left[\frac{1}{s^2+\omega^2} \cdot \frac{1}{s + \frac{1}{T_1}}\right] =$$

$$= P_x(s) \cdot \frac{\omega}{T_1\left(-\frac{1}{T^2_1} - \omega^2\right)} \cdot \left[\frac{s}{(s^2+\omega^2)} - \left(\frac{1}{\omega \cdot T_1}\right)\frac{\omega}{(s^2+\omega^2)} - \frac{1}{\left(s + \frac{1}{T_1}\right)}\right].$$

Проводим обратное преобразование по Лапласу этого выражения:

$$P_{k1}(t) = P_x(t) \cdot \frac{\omega}{T_1\left(-\frac{1}{T^2_1} - \omega^2\right)} \cdot \left[\cos(\omega \cdot t) - \left(\frac{1}{\omega \cdot T_1}\right)\sin(\omega \cdot t) - e^{-\frac{1}{T_1}t}\right] =$$

$$= P_x(t) \cdot \frac{\omega T_1}{\left(1 + \omega^2 T^2_1\right)} \cdot \left[\left(\frac{1}{\omega \cdot T_1}\right)\sin(\omega \cdot t) - \cos(\omega \cdot t) + e^{-\frac{1}{T_1}t}\right]. \quad (6)$$

С другой стороны, расход газа G_2 через линейное пневматическое сопротивление 4 (Рисунок 2) проводимостью α_2, учитывая, что $P_{к2}$ является переменной величиной:

$$G_2 = (P_{к1} - P_{к2}) \cdot \alpha_2.$$

После преобразования по Лапласу:

$$G_2(s)=\left[P_{k1}(s)-P_{к2}(s)\right]\cdot\alpha_2 . \qquad (7)$$

Для пневматической полости 5 на основании формулы Клапейрона - Менделеева $P_{k2}V_{k2}=m_{k2}RT$. Определяя из этого выражения массу газов, а затем дифференцируя изменения массы и давления газов в полости по времени, получим $\frac{dm_{k2}}{dt}=\frac{V_{k2}}{RT}\cdot\frac{dP_{k2}}{dt}$. Так как $\frac{dm_{k2}}{dt}=G_2$, тогда $G_2=\frac{V_{k2}}{RT}\cdot\frac{dP_{k2}}{dt}$.

Преобразуем это выражение по Лапласу:

$$G_2(s)=\frac{V_{k2}}{RT}\cdot s\cdot P_{k2}(s) . \qquad (8)$$

Выражение (7) с учетом (5) принимает вид

$$G_2(s)=\left[P_x(s)\cdot\frac{\omega}{s^2+\omega^2}\cdot\left[1-\frac{sT_1}{(sT_1+1)}\right]-P_{к2}(s)\right]\cdot\alpha_2=P_x(s)\cdot\frac{\omega\cdot\alpha_2}{s^2+\omega^2}\cdot\left[1-\frac{sT_1}{(sT_1+1)}\right]-P_{к2}(s)\cdot\alpha_2 . \qquad (9)$$

Вывод выражения для давления рециркулируемых газов $P_{к2}$. Приравниваем выражение (9) для расхода газов $G_2(t)$ через второе пневматическое сопротивление 4 (Рисунок 2) и выражение (8) для расхода среды во вторую емкость.

$$\frac{V_{k2}}{RT}\cdot s\cdot P_{k2}(s)=P_x(s)\cdot\frac{\omega\cdot\alpha_2}{s^2+\omega^2}\cdot\left[1-\frac{sT_1}{(sT_1+1)}\right]-P_{к2}(s)\cdot\alpha_2 .$$

Из этого соотношения определяем, что

$$P_{k2}(s)=P_x(s)\cdot\frac{\omega\cdot\alpha_2}{s^2+\omega^2}\cdot\left[1-\frac{sT_1}{(sT_1+1)}\right]\cdot\frac{1}{\left[\frac{V_{k2}}{RT}\cdot s+\alpha_2\right]} .$$

Выше принимали, что $\frac{V_{k2}}{\alpha_2\cdot RT}=T_2$ или $\frac{1}{T_2}=\frac{RT}{V_{k2}}\cdot\alpha_2$, тогда

$$P_{k2}(s)=P_x(s)\cdot\frac{\omega\cdot\alpha_2}{s^2+\omega^2}\cdot\left[1-\frac{sT_1}{(sT_1+1)}\right]\cdot\frac{1}{\alpha_2\left[\frac{V_{k2}}{\alpha_2 RT}\cdot s+1\right]}=$$

$$=\frac{P_x(s)}{T_2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}\cdot\left[\frac{\omega}{s^2+\omega^2}-s\omega\left(\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_1}\right)}-\frac{\left(s-\frac{1}{T_1}\right)}{s^2+\omega^2}\right)\frac{1}{\left(\omega^2+\frac{1}{T^2{}_1}\right)}\right]=$$

$$=\frac{P_x(s)}{T_2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}\cdot\left[\frac{\omega}{s^2+\omega^2}-s\omega\left(\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_1}\right)}-\frac{s}{s^2+\omega^2}+\frac{1}{T_1}\frac{1}{s^2+\omega^2}\right)\frac{1}{\left(\omega^2+\frac{1}{T^2{}_1}\right)}\right]=$$

$$=\frac{P_x(s)}{T_2}\cdot\left[\frac{\omega}{s^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}-\frac{\omega}{\left(\omega^2+\frac{1}{T^2{}_1}\right)}\cdot\right.$$

$$\left.\cdot\left(\frac{s}{\left(s+\frac{1}{T_1}\right)}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}-\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}+\frac{\omega^2}{s^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}+\frac{1}{T_1}\frac{s}{s^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}\right)\right] .$$

Продолжая разложение на простые слагаемые в этой формуле следующих выражений: $\frac{\omega}{s^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}$, $\frac{s}{\left(s+\frac{1}{T_1}\right)}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}$, $\frac{\omega^2}{s^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}$, $\frac{1}{T_1}\frac{s}{s^2+\omega^2}\cdot\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}$, получим:

$$P_{k2}(s)=\frac{P_x(s)}{T_2}\cdot\left\{\frac{\omega}{\left(\frac{1}{T^2_2}+\omega^2\right)}\left[-\frac{s}{s^2+\omega^2}+\frac{1}{\omega T_2}\cdot\frac{\omega}{s^2+\omega^2}+\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}\right]-\right.$$

$$-\frac{\omega}{\left(\omega^2+\frac{1}{T^2_1}\right)}\cdot\left[\frac{T_1T_2}{(T_1-T_2)}\left(\frac{1}{T_2}\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}-\frac{1}{T_1}\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_1}\right)}\right)-\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}+\right.$$

$$\left.\left.+\frac{\omega^2T^2_2}{\left(1+\omega^2T^2_2\right)}\left(-\frac{s}{s^2+\omega^2}+\frac{1}{\omega T_2}\cdot\frac{\omega}{s^2+\omega^2}+\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}\right)+\frac{T^2_2}{T_1\left(1+\omega^2T^2_2\right)}\cdot\left(\omega\frac{\omega}{s^2+\omega^2}+\frac{1}{T_2}\cdot\frac{s}{s^2+\omega^2}-\frac{1}{T_2}\frac{1}{\left(s+\frac{1}{T_2}\right)}\right)\right]\right\}.$$

Переходим к оригиналу функции для давления $P_{k2}(t)$.

$$P_{k2}(t)=\frac{P_x(t)}{T_2}\cdot\left\{\frac{\omega}{\left(\frac{1}{T^2_2}+\omega^2\right)}\left[-\cos(\omega t)+\frac{1}{\omega T_2}\sin(\omega t)+e^{-\frac{1}{T_2}t}\right]-\right.$$

$$-\frac{\omega T^2_1}{\left(\omega^2T^2_1+1\right)}\cdot\left[\frac{T_1T_2}{(T_1-T_2)}\left(\frac{1}{T_2}e^{-\frac{1}{T_2}t}-\frac{1}{T_1}e^{-\frac{1}{T_1}t}\right)-e^{-\frac{1}{T_2}t}+\frac{\omega^2T^2_2}{\left(1+\omega^2T^2_2\right)}\left(-\cos(\omega t)+\frac{1}{\omega T_2}\cdot\sin(\omega t)+e^{-\frac{1}{T_2}t}\right)+\right.$$

$$\left.\left.+\frac{T^2_2}{T_1\left(1+\omega^2T^2_2\right)}\cdot\left(\omega\sin(\omega t)+\frac{1}{T_2}\cdot\cos(\omega t)-\frac{1}{T_2}e^{-\frac{1}{T_2}t}\right)\right]\right\}.$$

После упрощения выражение для давления $P_{k2}(t)$ принимает вид

$$P_{k2}(t)=\frac{P_x(t)}{\left(1+\omega^2T^2_1\right)\left(1+\omega^2T^2_2\right)}\cdot\left[\left(1-\omega^2T_1T_2\right)\sin(\omega t)-\omega(T_2+T_1)\cos(\omega t)+\right.$$

$$\left.+\frac{\omega T^2_1\left(1+\omega^2T^2_2\right)}{(T_1-T_2)}e^{-\frac{1}{T_1}t}-\frac{\omega T_2^2\left(1+\omega^2T^2_1\right)}{(T_1-T_2)}e^{-\frac{1}{T_2}t}\right]. \qquad (10)$$

Если в этом выражении принять, что T_1=0, т.е. нету первой емкости 3 на Рисунке 2, тогда

$$P_{k2}(t)=\frac{P_x(t)}{\left(1+\omega^2T^2_2\right)}\cdot\left[\sin(\omega t)-\omega T_2\cos(\omega t)+\omega T_2e^{-\frac{1}{T_2}t}\right].$$

Эта формула совпадает с формулой (6) для первой емкости 3 на Рисунке 2, если T_2 заменить на T_1.

Из формул (6) и (10) следует, что если частота ω изменения давления рециркулируемых газов $P_x(t)$ равна нулю, тогда давления $P_{k1}(t)$ и $P_{k2}(t)$ в камерах 3 и 5 (Рисунок 2) равны нулю потому, что sin0 равен нулю, а в других слагаемых имеется частота как множитель. Только при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов, подводимых в нижнюю часть реактора пиролиза изношенных шин, непрерывно изменяются давления газов в порах, соединенных между собою и с основными потоками рециркулируемых газов. Подвод рециркулируемых газов в нижнюю часть реактора при наличии переменной составляющей в давлении рециркулируемых газов способствует более интенсивному и равномерному пиролизу крошки изношенных шин в реакторе.

Список литературы

1. **Емцев Б. Т.** Техническая гидромеханика: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1987. 440 с.
2. **Жежера Н. И., Тямкин С. А., Сайденова Г. А.** Математическое описание реактора пиролиза изношенных шин как объекта автоматического управления по давлению газов // Автоматизация и современные технологии. 2010. № 12. С. 33-36.
3. **Патент на изобретение № 2339510. РФ. Способ термической переработки изношенных шин и резинотехнических изделий.** Авторы изобретения Н. И. Жежера, С. А. Тямкин. Приоритет от 10.04.2007. Опубл. 27.11.2008. Бюлл. № 33.