Тип статьи: научная
УДК 629.721.892.697(022)
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-1-124-132

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ В МНОГОКАНАЛЬНОМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ФИЛЬТРЕ

Улюкина Елена Анатольевна[1], Львов Владимир Анатольевич[2], Шарыкин Федор Евгеньевич[3]
[1]РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Россия
[1]eulykina@rgau-msha.ru
[2]МГТУ имени Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия
[2]lvov@bmstu.ru
[3]25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России, г. Москва, Россия
[3]fedor_rf@mail.ru

Автор ответственный за переписку: Елена Анатольевна Улюкина, eulykina@rgau-msha.ru
Corresponding author: Elena Ulyukina, eulykina@rgau-msha.ru

Реферат. *Современные потребности технологий, машин и оборудования агропромышленного комплекса обуславливают необходимость решения вопросов очистки дизельных топлив от механических примесей. Однако существующие конструкции типовых фильтров, содержащих сменные фильтрующие элементы, обладают малым ресурсом и не всегда обеспечивают требования эффективной очистки топлив, в результате чего не исключена возможность возникновения внезапных отказов средств механизации. В целях оценки эффективности применения многоканального гидродинамического фильтра оригинальной конструкции, проведены теоретические исследования процесса предварительной очистки данным устройством дизельного топлива от твердых полидисперсных частиц загрязнений. В результате исследований впервые подтверждена возможность использования стохастического подхода для описания процесса предварительной очистки топлива в гидродинамическом фильтре с коническими фильтрующими элементами на различных режимах работы. Разработана стохастическая модель исследуемого процесса. Теоретически показано, что предварительная очистка топлива в многоканальном гидродинамическом фильтре с коническими фильтрующими элементами может быть описана с помощью стационарных решений уравнения Фокера-Планка-Колмогорова. Найдены основные параметры и безразмерные комплексы, учитывающие особенности описания процесса предварительной гидродинамической очистки топлива в конических фильтрующих элементах с учетом влияния случайных составляющих.*

Ключевые слова: *гидродинамический фильтр, стохастическая модель, дизельное топливо, эффективность очистки, механические примеси, параметры процесса.*

STOCHASTIC MODEL OF DIESEL FUEL PRETREATMENT IN A MULTICHANNEL HYDRODYNAMIC FILTER

Elena Ulyukina[1], Vladimir Lvov[2], Fedor Sharykin[3]
[1]RSAU–MACA named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia
[1]eulykina@rgau-msha.ru
[2]MSTU named after N.E. Bauman, Moscow, Russia
[2]lvov@bmstu.ru
[3]25th state research Institute of chemmotology at Ministry of defense of Russia, Moscow, Russia
[3]fedor_rf@mail.ru

Abstract. *Modern needs of technologies, machinery and equipment of the agro-industrial complex make it necessary to solve the issues of cleaning diesel fuels from mechanical impurities. However, the*

existing designs of standard filters containing replaceable filter elements have a small resource and do not always meet the requirements of efficient fuel purification, as a result of which the possibility of sudden failures of mechanization means is not excluded. In order to evaluate the effectiveness of the use of a multichannel hydrodynamic filter of the original design, theoretical studies of the process of preliminary purification of diesel fuel by this device from solid polydisperse particles of pollution have been carried out. As a result of the research, for the first time, the possibility of using a stochastic approach to describe the process of pre-purification of fuel in a hydrodynamic filter with conical filter elements in various operating modes has been confirmed. A stochastic model of the process under study has been developed. It is theoretically shown that the preliminary purification of fuel in a multichannel hydrodynamic filter with conical filter elements can be described using stationary solutions of the Foker-Planck-Kolmogorov equation. The main parameters and dimensionless complexes, taking into account the features of the description of the process of preliminary hydrodynamic fuel cleaning in conical filter elements, taking into account the influence of random components, are found.

Keywords*: hydrodynamic filter, stochastic model, diesel fuel, cleaning efficiency, mechanical impurities, process parameters.*

Для цитирования: Улюкина Е.А., Львов В.А., Шарыкин Ф.Е. Стохастическая модель предварительной очистки дизельных топлив в многоканальном гидродинамическом фильтре // Наука в центральной России. 2023. Т. 61, № 1. С. 124-132. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-124-132.

For citation: Ulyukina E., Lvov V., Sharykin F. Stochastic model of diesel fuel pretreatment in a multichannel hydrodynamic filter. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 61(1): 124-132. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-1-124-132.

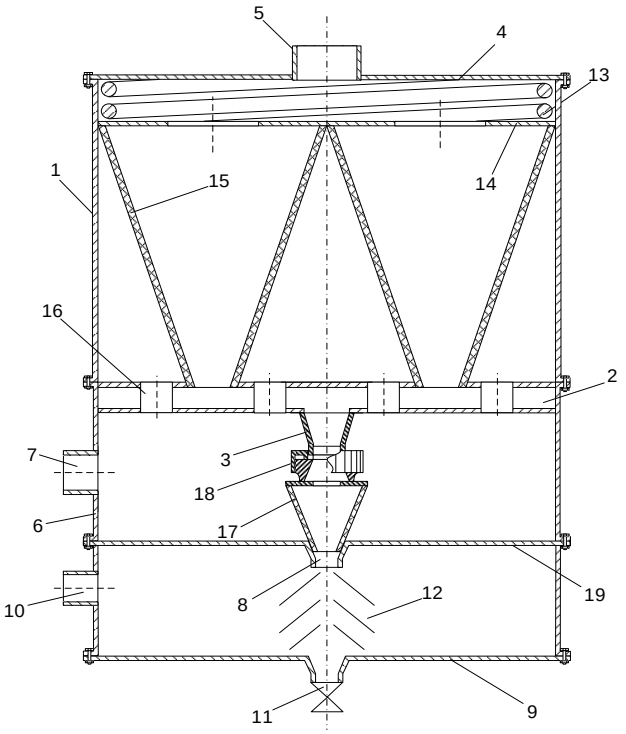
Введение. В агропромышленном комплексе, при решении широкого класса производственных, технических и технологических задач, включая задачи безопасности, надежности и экологии, в системах топливоподготовки широкое применение находят фильтры грубой и тонкой очистки. Вместе с тем, существующие конструкции типовых фильтров, содержащих сменные фильтрующие элементы (ФЭ), обладают малым ресурсом и не всегда обеспечивают требования эффективной очистки топлива. Особое место среди средств очистки, исключающих присущие традиционным очистителям недостатки, занимают многоканальные гидродинамические фильтры [1]. Однако расчет ФЭ в подобных конструкциях может вызвать серьёзные допущения, поскольку базируется на детерминированных точечных оценках, не учитывающих многих факторов, особенно в случае предварительной очистки топлив от мелкодисперсных частиц загрязнений. Указанные обстоятельства не исключают ошибок при конструктивном оформлении гидродинамических фильтров и расчетах ресурса работы их ФЭ, что обусловлено незавершенностью разработки общей теории процесса переноса при гидродинамическом фильтровании.

Таким образом, определение количественных оценок комплексных показателей протекающих процессов, в частности непрерывной функции эффективности предварительной гидродинамической очистки топлива в ФЭ многоканального гидродинамического фильтра является актуальной и практически значимой задачей современных систем топливоподготовки в агропромышленном комплексе. А задачей данных исследований можно считать получение явного вида функции, характеризующей основные параметры исследуемой дисперсной системы.

Материалы и методы. Авторами данных исследований разработана оригинальная конструкция многоканального гидродинамического фильтра, принципиальная схема которого представлена на рисунке 1 [2, 3].

Конструкция такого фильтра содержит цилиндрический корпус с полым днищем и центральным коническим патрубком, герметичную крышку с входным патрубком, насадку с выходным и сливным патрубками и сливной отсек, сообщающийся со сливным патрубком. Отсек снабжён боковым патрубком, ведущим через линию рециркуляции ко входному патрубку, и нижним сливным краном для отвода неочищенного топлива. Под сливным патрубком внутри отсека размещены наклонные пластины. При этом, наличие в конструкции сливного отсека для

приема и сепарации неочищенного топлива (1-2 % от поступившего объема) с направлением его на наклонные пластины и последующим отводом в линию рециркуляции обеспечивает повторную очистку, снижает потери очищаемого топлива до минимальных значений и повышает степень его очистки.



1 – корпус;2 – полое днище; 3 – центральный конический патрубок; 4 – герметичная цилиндрическая крышка; 5 – входной патрубок; 6 – насадка; 7, – выходной патрубок; 8 – сливной патрубок;9 – сливной отсек; 10 – рециркуляционный патрубок; 11 – сливной кран; 12 – наклонные пластины; 13 – нажимная пружина; 14 – плоское основание; 15, 17 – фильтрующая перегородка; 16 – проходной канал; 18 – накидная гайка; 19 – днище цилиндрической насадки

Рисунок 1 – Принципиальная схема многоканального гидродинамического фильтра

Внутри корпуса расположены основные ФЭ, которые посредством нажимной пружины поджаты к полому днищу, выполненному в виде плоского основания с 4 симметричными отверстиями, на каждом из которых большим основанием закреплен ФЭ в форме правильного усеченного конуса с круглым основанием. Меньшие основания элементов ведут в полость днища для сбора неочищенного топлива, сообщающуюся с центральным коническим патрубком. В конструкции полого днища предусмотрено наличие каналов для поступления очищенного топлива в насадку, внутри которой расположен дополнительный ФЭ, также имеющий форму усеченного конуса.

Все ФЭ выполнены из металлической сетки с фторопластовым покрытием, их форма, сужающаяся по направлению потока топлива, создает условия для его продольного перемещения с постоянной скоростью вдоль поверхности перегородки. Это обеспечивает одинаковое гидравлическое сопротивление во всех точках. Равнозначное гидравлическое сопротивление на фильтрующих перегородках дополнительного и основных ФЭ достигается, благодаря выбору соотношения их рабочих поверхностей 1:10, так как суммарный объем топлива, создающего продольный поток вдоль внутренних поверхностей перегородок и поступающего для очистки в дополнительный ФЭ, составляет ~ 10 % от объёма всего очищаемого топлива.

В многоканальном гидродинамическом фильтре уменьшение высоты ФЭ в *n* раз по сравнению с аналогичным фильтром, содержащим 1 ФЭ, достигается благодаря геометрическому подобию их перегородок, при этом нормированная площадь поперечного сечения не увеличивается, а пропускная способность сохраняется. Применение принципа многоканальности позволяет снизить габаритные размеры устройства и технологически упростить его изготовление при обеспечении требуемой тонкости фильтрования и пропускной способности.

Фильтр предложенной конструкции работает следующим образом. Загрязнённое топливо под давлением подаётся во входной патрубок, откуда поступает в полость между крышкой и основанием основных ФЭ, далее через отверстия поступает в сужающиеся внутренние полости самих ФЭ. При этом, очищенное топливо отводится через каналы в насадку, а неочищенное создает продольный поток и через меньшие основания ФЭ поступает в полость днища. Оттуда неочищенное топливо через центральный конический патрубок направляется во внутреннюю полость дополнительного ФЭ, очищается и отводится через выходной патрубок вместе с очищенным топливом.

Оставшаяся концентрированная суспензионно-эмульсионная смесь повторно фильтруется и разделяется в сливном отсеке, наиболее чистая часть поступает через боковой патрубок в линию рециркуляции для повторного фильтрования, а неочищенная – собирается и удаляется через сливной кран.

Для очистки сбрасываемого из дополнительного ФЭ топлива, содержащего твёрдые загрязнения, предусмотрен динамический отстойник, выполненный в виде пакета наклонных пластин, обеспечивающих тонкослойное осаждение загрязнений. При его работе сбрасываемое топливо подводится к перфорированной центральной трубке отстойника, а выход топлива из отстойника осуществляется по периферии пластин. Данный подход повышает эффективность очистки, так как скорость потока при движении по поверхности пластин замедляется, благодаря чему создаются благоприятные условия для седиментации загрязнений.

Для рассмотренной конструкции теоретические исследования процесса предварительной очистки дизельного топлива в конусном ФЭ многоканального гидродинамического фильтра выполнены методом математического моделирования с использованием стохастического подхода.

Результаты и их обсуждение. В целях определения количественных оценок комплексных показателей непрерывной функции эффективности предварительной очистки топлива в конических ФЭ многоканального гидродинамического фильтра: $T = T(d_ч)$, где $d_ч$ – размер частицы загрязнений, приведена расчетная схема движения частиц загрязнений (рисунок 2).

Для основных допущений моделирования существует ряд предпосылок. Анализ криволинейного движения твердых частиц загрязнений размером d_i <100 мкм в жидкостных потоках показал, что в тангенциальном направлении их скорость, без учета седиментационной составляющей, практически совпадает со скоростью движения дисперсионной среды. При этом, скорости движения частиц загрязнений и топлива, а также их траектории в радиальном направлении могут существенно отличаться друг от друга. Различия обусловлены присутствием не только центробежных, гравитационных и других сил, но и случайных составляющих протекающих процессов, что существенно усложняет картину движения полидисперсных частиц загрязнений [4].

Для обоснованного применения допущений, при разработке математической модели стохастического процесса предварительной очистки, указанные обстоятельства потребовали конкретизации расчетной схемы движения топлива и частиц загрязнений.

В дальнейшем будем считать, что очистка топлива от твердых полидисперсных частиц загрязнений осуществляется в ФЭ, который имеет форму перевернутого усеченного конуса с заданными геометрическими размерами. При этом, свойства дисперсионной среды и дисперсной фазы, а также структурные, гидродинамические, фильтровальные и другие свойства пористой перегородки ФЭ считаем известными.

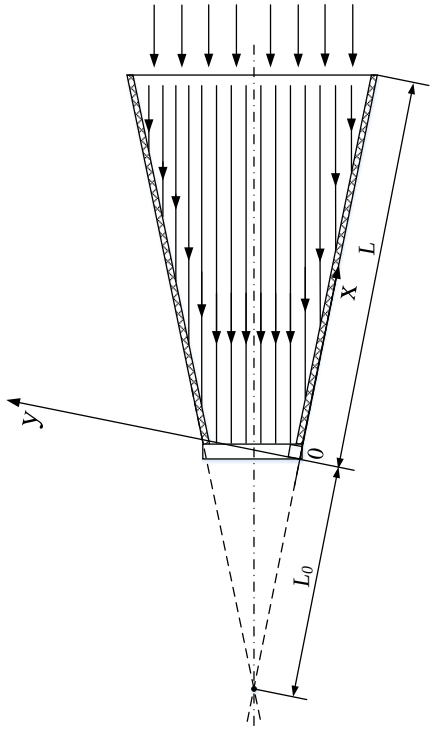


Рисунок 2 – Расчетная схема движения частиц загрязнений в ФЭ гидродинамического фильтра

Полагаем, что очищаемый поток топлива подается во внутреннюю полость ФЭ практически вертикально, через основание конуса с известным расходом Q_0, параллельно его оси. Также допускаем, что часть очищаемого потока с расходом Q_C выводится через нижнее сечение конуса, параллельное плоскости его основания. Основная часть потока топлива с расходом $Q_\phi = Q_0 - Q_C$ подается на пористую перегородку ФЭ, где происходит окончательная очистка топлива фильтрованием. При этом, линии тока топлива, отклонившись от прямолинейного движения по вертикали, в непосредственной близости от поверхности ФЭ, поступают на нее по нормали, а задержанные на ней частицы загрязнений могут перемещаться вдоль образующей конуса.

Считаем, что при постоянном расходе топлива Q_0, равномерно поступающего через основание ФЭ, кинетическая стадия процесса предварительной очистки заканчивается уже на входе в него. В результате чего во внутреннем объеме ФЭ устанавливается стационарное распределение по скоростям потока топлива и возможно относительно медленное изменение во времени характеристик ФЭ, а также гидродинамических параметров рассматриваемой дисперсной системы. Полагая, что движение частиц загрязнений размера d_i может быть удовлетворительно описано в рамках стоксового приближения, принимаем случайные воздействия на эти частицы в различные моменты времени статистически независимыми друг от друга (δ – коррелированы во времени) и меняющимися гораздо быстрее, по сравнению с вызываемыми ими изменениями наблюдаемых величин.

Данные допущения обуславливают реализацию квазиустановившегося стохастического движения во внутреннем объеме ФЭ, а взаимодействие частиц загрязнений – соответствующее теории случайных Марковских процессов.

Обращаясь к определению усредненных детерминированных характеристик протекающих процессов будем считать, что очищаемое топливо, которое поступает на вход ФЭ с равномерным

распределением частиц загрязнений всех размеров, является мало- и/или среднеконцентрированной суспензией.

Введем в рассмотрение ортогональную систему координат, связанную с образующей ФЭ гидродинамического фильтра, начало которой расположено в нижнем сечении, на расстоянии L_0 от вершины полного конуса (рисунок 2). Тогда для данной системы координат скорость движения частицы загрязнений в векторной форме можно определить, как:

$$\vec{v}_i = \vec{w}_0 + \vec{v}_ч, \tag{1}$$

где $\vec{w}_0$ – скорость движения топлива, м/с;

$\vec{v}_ч$ – скорость движения частицы загрязнений относительно топлива, м/с.

В рамках метода предельных оценок, для стоксовой частицы эквивалентного размера d_i и массы m_i в подвижной системе координат, скорость движения частицы загрязнений относительно топлива определим через максимальную скорость ее осаждения:

$$\vec{v}_ч = \alpha_s \vec{v}_s = \frac{\alpha_s(\rho_ч - \rho_m) g d_ч^2}{18\mu}, \tag{2}$$

где α_s – коэффициент изменения максимальной скорости движения частицы,

$\vec{v}_s$ – скорость осаждения частицы в топливе, м/с.

μ – динамическая вязкость топлива, Па·с;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

ρ_m, $\rho_ч$ – плотность топлива и частицы соответственно, кг/м^3.

Используя линейное приближение, представим скорость движения топлива $\vec{w}_0$ в произвольном направлении $\vec{r}$, как:

$$\vec{w}_0(\vec{r}) = \vec{w}_{вых}(\vec{r}) + \frac{\Delta\vec{w}(\vec{r})\vec{r}}{\Delta r}, \tag{3}$$

где $\vec{w}_{вых}(\vec{r})$ – средняя скорость движения топлива на выходе из ФЭ, м/с;

$\frac{\Delta\vec{w}}{\Delta\vec{r}}$ – относительное изменение скорости движения топлива в выбранном направлении.

Тогда, с учетом уравнений (1)…(3) для скорости движения частицы загрязнений размером d_i в проекции на координату X, выбранную вдоль образующей ФЭ, получаем:

$$v_X = -Cos\frac{\Theta}{2}(v_ч + w_{вых} + kX) = -Cos\frac{\Theta}{2}(v_0 + kX), \tag{4}$$

где $v_0 = v_ч + w_{вых}$ – средняя осевая скорость движения частиц на выходе из ФЭ, м/с;

$k = \frac{\alpha(w_{вх} - w_{вых})}{L} = \frac{\alpha_1 \Delta w}{L}$ – относительное изменение средней скорости движения топлива вдоль образующей ФЭ;

$w_{вх} = \frac{\alpha_0 Q_0}{S_{вх}}$ и $w_{вых} = \frac{\alpha_c Q_c}{S_{вых}}$ – средняя осевая скорость движения топлива на входе и выходе ФЭ, м/с;

$S_{вх} = \frac{\pi D_{вх}^2}{4}$ и $S_{вых} = \frac{\pi D_{вых}^2}{4}$ – площадь сечения ФЭ на входе и выходе, м^2;

Θ – угол конусности ФЭ, º;

$\alpha_0, \alpha_c, \alpha_1$ – поправочные коэффициенты;

L – длина образующей ФЭ конусной формы, м;

$D_{вх}$ и $D_{вых}$ – диаметры оснований ФЭ, м;

$\Delta w = (w_{вх} - w_{вых})$ – изменение осевой составляющей скорости движения топлива в ФЭ, м/с.

В результате, с учетом влияния случайных составляющих протекающих процессов, уравнение (4) можно записать в следующем виде:

$$\frac{dX}{dt} = -Cos\frac{\Theta}{2}(v_0 + kX) + \tilde{m}\tilde{\xi}(t), \tag{5}$$

где $\tilde{m}\tilde{\zeta}(t)$ – ланжевеновский источник, характеризующий интенсивность случайных составляющих протекающих процессов.

Переход к безразмерной координате $x = \frac{X}{L}$ приводит уравнение (5) к виду:

$$\frac{dx}{dt} = -Cos\frac{\Theta}{2}\left(\frac{v_0}{L} + kx\right) + \left(\frac{\tilde{m}}{L}\right)\tilde{\xi}(t) \tag{6}$$

После введения в рассмотрение нормированной на единицу функции плотности распределения частиц загрязнений по безразмерной координате x, $f = f(x, t)$, которая характеризует вероятность нахождения частиц загрязнений размера d_i в момент времени t в интервале безразмерной координаты образующей ФЭ $x + dx$, для уравнения Фокера-Планка-Колмогорова [5], имеем:

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = \frac{B}{2}\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial Cos\frac{\Theta}{2}(\frac{v_0}{L} + kx) f(x,t)}{\partial x}, \tag{7}$$

где $B = \frac{b_0 \tilde{m}^2}{L^2}$ – интенсивность случайных составляющих протекающих процессов;

b_0 – аналог коэффициента диффузии в пространстве безразмерной координаты.

В результате преобразований уравнения (7) получаем:

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} = a\frac{\partial^2 f(x,t)}{\partial x^2} + (bx + c)\frac{\partial f(x,t)}{\partial x} + ef(x,t), \tag{8}$$

где $a = \frac{B}{2} = \frac{b_0 \tilde{m}^2}{2L^2}$; $b = e = kCos\frac{\Theta}{2}$; $c = Cos\frac{\Theta}{2}\frac{v_0}{L}$.

При $b \neq 0$ замена $y = x + \frac{c}{d}$ приводит уравнение (8) к следующему виду:

$$\frac{\partial f(y,t)}{\partial t} = a\frac{\partial^2 f(y,t)}{\partial y^2} + by\frac{\partial f(x,t)}{\partial y} + ef(y,t) \tag{9}$$

Преобразование $f(y,t) = u(z,\tau)\exp(et)$, $\tau = \frac{a}{2b}\exp(2bt)$, $z = y\exp(bt)$ позволяет перейти от уравнения (9) к уравнению с постоянными коэффициентами вида:

$$\frac{\partial u(z,t)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 u(z,t)}{\partial z^2} \tag{10}$$

Для $z \in R$, при начальном условии $u = \varphi(z)$ в начальный момент времени $\tau = 0$, получаем решение уравнения (10) в виде [5]:

$$u(z,\tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(z-\zeta)^2}{4\tau}\right] \varphi(\zeta) d\zeta \qquad (11)$$

Полагая, что $u = \varphi(z) = \varphi(\zeta) = \delta(\zeta) = \delta(0)$, где $\delta(\zeta)$ – δ - функция Дирака, имеем:

$$u(z,\tau) = \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}} \exp\left(-\frac{z^2}{4\tau}\right) \qquad (12)$$

Возвращаясь к исходным координатам, для функции $f = f(x,t)$ получаем:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{\frac{2\pi a}{b}}} \exp\left(-\frac{\left(x+\frac{c}{b}\right)^2}{\frac{2a}{b}}\right) = \sqrt{\frac{\alpha_1 \Delta w Cos \frac{\Theta}{2}}{\pi L B}} \exp\left(-\frac{\alpha_1 \Delta w Cos \frac{\Theta}{2}\left(x+\frac{v_0}{\alpha_1 \Delta w}\right)^2}{BL}\right) \qquad (13)$$

Решения уравнений (11)…(13) дают возможность более полного изучения протекающих процессов и позволяют выявить определяющие параметры гидродинамического фильтрования топлива в ФЭ конической формы, которые условно можно разделить на следующие группы: конструктивные и технологические параметры, а также физико-химические свойства очищаемого топлива. В составе основных конструктивных параметров могут быть выделены величины: L; L_0; $D_{вх}$; $D_{вых}$; Θ. Основными технологическими параметрами можно считать: Q_0; Q_c; $Q_ф$; v_0; $w_{вх}$; $w_{вых}$, к физико-химическим свойствам топлива следует отнести: $\vec{v}_s$; μ; ρ_s; ρ_m; $f_d(d_i)$ – гранулометрический состав загрязнений на входе в ФЭ.

Наряду с выделенными группами, совместно с постоянными коэффициентами α_0, α_c, α_1, α_s, найденными на основе экспериментальных данных, определяющими величинами также являются относительные постоянные безразмерные комплексы $\frac{a}{b} = \frac{BL}{2\alpha_1 \Delta w}$ и $\frac{c}{b} = \frac{v_0}{\alpha_1 \Delta w}$, которые соответственно характеризуют интенсивность случайных составляющих протекающих процессов и среднюю осевую скорость движения частиц загрязнений на выходе из ФЭ, по сравнению со средним изменением осевой составляющей скорости движения топлива в самом элементе.

В практике инженерных расчетов, использование решений (11)…(13) могут вызвать существенные затруднения, что требует введения дополнительных обоснованных допущений, позволяющих упростить практическое применение условий однозначности. На подобную возможность также указывает решение уравнения (13), независящее от времени. Все это делает необходимым проведение дальнейшего, более детального исследования свойств предложенной стохастической модели.

Выводы. В результате проведенных исследований впервые подтверждена возможность использования стохастического подхода для описания процесса предварительной очистки дизельного топлива в многоканальном гидродинамическом фильтре с коническими ФЭ на различных режимах его работы.

Теоретически показано, что процесс предварительной очистки топлива в гидродинамических фильтрах с коническими ФЭ может быть описан с помощью стационарных решений уравнения Фокера-Планка-Колмогорова.

Найдены основные параметры и безразмерные комплексы, учитывающие особенности описания процесса предварительной очистки топлива в конических ФЭ с учетом влияния случайных составляющих.

Список источников

1. Kovalenko V.P., Galko S.A., Sharykin F.E. Technical solutions for purifying fuels and oils at their life cycle stages // Chemistry and technology of fuels and oils. 2016. Т. 51. № 6. P. 623-626.

2. Многоканальный гидродинамический фильтр: патент 168131 Российская Федерация, МПК B 01 D 36/00(2006.01) / В.В. Прошкин, А.Н. Каптюх, Д.Д. Морошан, В.П. Коваленко, А.Ф. Мороз, Р.Г. Мамедов, Ф.Е. Шарыкин; заявл. 04.07.2016; опубл. 18.01.2017, Бюл. № 2.

3. Установка для очистки жидкостей и газов: патент 2630125 Российская Федерация, МПК B 01 D 36/00(2006.01) / В.П. Коваленко, Ф.Е. Шарыкин, С.А. Галко, Д.У. Думболов, А.В. Тодорив; заявл. 22.03.2016; опубл. 05.09.2017, Бюл. № 25.

4. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994. 350 с.

5. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики. М.: Физматлит, 2001. 576 с.

References

1. Kovalenko V.P., Galko S.A., Sharykin F.E. Technical solutions for purifying fuels and oils at their life cycle stages. Chemistry and technology of fuels and oils. 2016. Т. 51. № 6. P. 623-626.

2. Proshkin V.V., Kaptukh A.N., Moroshan D.D., Kovalenko V.P., Moroz A.F., Mamedov R.G., Sharykin F.E. Mnogokanalnyigidrodinamicheskiifiltr [Multichannel hydrodynamic filter]: RF PatentNo. 168131 C2, MPKB 01 D 36/00. No. 2016126526, 2017. (In Russ.)

3. Kovalenko V.P., Sharykin F.E., Galko S.A., Dumbolov D.U., Todoriv A.V. Ustanovkadliaochistkizhidkostei I gazov [Installation for cleaning liquids and gases]: RF Patent No. 2630125 C2, MPK B 01 D 36/00. No. 2016110423, 2017. (In Russ.)

4. Ternovskii I.G., Kutepov A.M. Gidrociklonirovanie [Hydrocycloning]. M., Nauka, 1994. 350 p. (In Russ.)

5. Polianin A.D. Spravochnikpolineinymuravneniiammatematicheskoifiziki [Handbook of linear equations of mathematical physics]. M., Fizmatlit, 2001. 576 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Е.А.Улюкина – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры; В.А.Львов – старший преподаватель; Ф.Е.Шарыкин – старший научный сотрудник.

Information about the authors

E.Ulyukina – Doctor of technical sciences, associate professor, professor of the department; V.Lvov – Senior lecturer; F.Sharykin – Senior scientific employee.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 21.01.2023 Принята к публикации (Accepted): 20.02.2023