

А.Н.Карташевич, доктор технических наук, профессор

А.Е.Кондраль, инженер

Белорусская сельскохозяйственная академия

УДК 665.753.4:621.316

## Исследование процесса обезвоживания дизельного топлива в неоднородном электрическом поле

Надежность работы топливной аппаратуры быстроходных дизелей в значительной степени определяется качеством топлива, поступающего к прецизионным деталям. Наличие в нем воды даже в небольших концентрациях значительно ухудшает низкотемпературные, энергетические, противозадирные, противозадирные показатели топлива и увеличивает скорость коррозии деталей топливоподающей аппаратуры. Это приводит к значительному снижению надежности дизельных двигателей. Для повышения надежности двигателя нами предлагается использовать фильтр-отстойник с очисткой топлива от воды в неоднородном электрическом поле. В данной статье разработана математическая модель, устанавливающая зависимость эффективности работы фильтра от его основных параметров: расхода топлива, диаметра фильтра, напряжения, приложенного к электродам, и расстояния между ними. Полученные данные позволяют определить конструктивные параметры фильтра для различных типов дизельных двигателей, который сможет обеспечить требуемую степень очистки топлива от воды. В качестве примера приведен расчет эффективности фильтра для дизеля 6 ЧН 13/11 (СМД-62).

*Work reliability of the fuel equipment of high-speed engine to a marked degree depends on the quality of fuel moving to precision machine parts. A water content even in small concentrations worsens low-temperature, energetic, anti-wear and anti-split indices of fuel and augments a corrosion rate of the parts of fuel-feeding apparatus. It leads to significant lowering of the reliability of fuel engines. For reliability we have offered to use settling filter for the refinement fuel from water in inhomogeneous electric field. In this article it has been worked out a mathematical model determining a dependence of the effective work of filter on its main characteristics: fuel outlay, filter diameter, voltage and distance between electrodes. The obtained data permit to determine construction parameters of the filter for the different kinds of fuel engines. This filter will be able to guarantee the required degree of the fuel refinement from water. As an example it has been given a calculation of efficiency of the filter for engine 6 CN 13/11 (SMD-62).*

## Введение

Одним из направлений повышения экономичности с одновременным снижением токсичности отработанных газов дизельного двигателя является совершенствование системы подачи топлива. Применение электронного управления подачей топлива в цилиндры двигателя в сочетании с повышением давления впрыскивания и уменьшением зазоров в сопряжениях деталей насосов и форсунок значительно повысило требования к степени его очистки от всех видов загрязнений. Наличие даже небольшого количества воды может привести к нарушению работоспособности наиболее дорогостоящих элементов системы топливоподачи и снижению надежности всего двигателя в целом. Наибольшую опасность представляют собой эмульсии высокой степени дисперсности, которые содержат микрокапли, размер которых менее 50 мкм. Капли такого размера практически не задерживаются в фильтре грубой очистки и оказывают крайне неблагоприятное влияние на топливную аппаратуру дизельных двигателей.

Для повышения качества очистки топлива от воды и твердых механических частиц нами разработан фильтр-отстойник, имеющий в своей конструкции электроды в виде сетки, на которые от одной из обмоток генератора через повышающий трансформатор и умножитель подается высокое напряжение постоянного тока. Неоднородное электрическое поле, действующее в зоне электродов, позволяет значительно повысить эффективность работы фильтра по сравнению с обычной конструкцией.

Для достижения максимальной эффективности предлагаемой конструкции ФГО необходимо определить влияние на нее конструктивных параметров фильтра: скорости потока топлива, расстояния между электродами и напряжения, приложенного к ним.

## Теоретические исследования

Эффективность ФГО можно оценить коэффициентом осаждения, который равен отношению изменения объема содержания воды в очищенном топливе к ее начальной концентрации. Коэффициент осаждения определяется следующим образом:

$$K = \frac{V_0 - V_1}{V_0} = \frac{V_2}{V_0}, \quad (1)$$

где  $V_0$  — объем воды, поступившей с топливом в фильтр, м<sup>3</sup>;

$V_1$  — объем воды в топливе после фильтра, м<sup>3</sup>;

$V_2$  — объем воды, задержанной фильтром, м<sup>3</sup>.

В ФГО может поступать полидисперсная эмульсия широкого фракционного состава. Характеристикой ее полидисперсности является дифференциальная функция  $F(d_i)$  распределения микрокапель по размерам. Максимуму данной функции соответствует вероятнейший диаметр капель  $d_p$ , а точкам ее пересечения с осью абсцисс — наибольший  $d_{max}$  и наименьший  $d_{min}$  диаметры. Объем воды, поступившей с топливом в фильтр

$V_0$ , равен сумме объемов всех содержащихся в топливе капель

$$V_0 = \frac{1}{6} \pi \sum_{d_{min}}^{d_{max}} F(d_i) d_i^3, \quad (2)$$

где  $d_i$  — диаметр капель, м;

$F(d)$  — доля капель диаметра  $d_i$  в эмульсии.

В фильтре задерживаются все капли размером больше некоторого граничного диаметра  $d_{fp}$ , а также часть капель меньшего размера. Задержанный фильтром объем воды равен сумме объемов всех капель, выпавших в отстой, и определяется следующим образом:

$$V_2 = \frac{1}{6} \pi \left( \sum_{d_{min}}^{d_{fp}} F(d_i) n(d_i) d_i^3 + \sum_{d_{fp}}^{d_{max}} F(d_i) d_i^3 \right), \quad (3)$$

где  $n(d)$  — доля задержанных фильтром капель диаметра  $d$ .

Доля капель любого диаметра, задержанных фильтром, определяется отношением действительной скорости капли в фильтре к скорости, необходимой для осаждения [1].

$$n(d) = \frac{v_1}{v_2}, \quad (4)$$

где  $v_1$  — действительная скорость капли в фильтре, м/с;

$v_2$  — скорость капли, необходимая для осаждения, м/с.

Допустим, что при равенстве внешних сил капля находится в состоянии покоя относительно топлива и ее скорость определяется скоростью потока, проходящего через фильтр. Учитывая, что движение топлива в ФГО носит ламинарный характер, трением жидкости о стенки можно пренебречь. Тогда, принимая диаметр фильтра постоянным по всей длине, необходимую для осаждения скорость капли можно определить следующим образом:

$$v_2 = v_3 = \frac{4Q}{\pi D^2 \rho_1}, \quad (5)$$

где  $v_3$  — скорость потока топлива через фильтр, м/с;

$Q$  — расчетный расход топлива через фильтр, кг/с;

$D$  — расчетный диаметр фильтра, м;

$\rho_1$  — плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения действительной скорости движения капли необходимо найти сумму действующих на нее внешних сил.

В неоднородном электрическом поле на каплю действуют следующие силы: сила инерции, направленная противоположно направлению движения капли, ponderomotorная сила неоднородного электрического поля, возникающая из-за разности диэлектрической проницаемости воды и топлива и направленная в сторону увеличения напряженности поля, сила Кулона, действующая вследствие притяжения капли к электроду, сила тяжести, подъемная сила Архимеда и сила сопротивления движению капли в вязкой среде. Исходя из первого закона Ньютона, капля будет находиться в покое или двигаться прямолинейно и равномерно, если сумма внешних сил, действующих на нее, равна нулю.

Спроецируем действующие на каплю силы на ось Z, направленную в сторону движения потока топлива. С учетом направления действия внешних сил получим:

$$F_{z1} + F_{z2} + F_{z3} = F_{z4} + F_{z5} + F_{z6}, \quad (6)$$

где  $F_{z1}$  — проекция силы инерции капли на ось Z, Н;  
 $F_{z2}$  — проекция силы Архимеда на ось Z, Н;  
 $F_{z3}$  — проекция силы сопротивления движению капли в вязкой среде на ось Z, Н;  
 $F_{z4}$  — проекция силы тяжести на ось Z, Н;  
 $F_{z5}$  — проекция пондеромоторной силы на ось Z, Н;  
 $F_{z6}$  — проекция силы Кулона на ось Z, Н.

Проекцию силы инерции на ось Z можно определить исходя из второго закона Ньютона:

$$F_{z1} = m \frac{dv_z}{dt} = \frac{1}{6} \pi d_1^3 \rho_2 \frac{dv_z}{dt}, \quad (7)$$

где  $m$  — масса капли, кг;  
 $\frac{dv_z}{dt}$  — проекция ускорения капли на ось Z, м/с<sup>2</sup>;

$v_z$  — проекция скорости капли на ось Z, м/с;

$\rho_2$  — плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

Сила Архимеда направлена вдоль оси Z и определяется по формуле

$$F_{z2} = \frac{1}{6} \pi d_1^3 \rho_1 g, \quad (8)$$

где  $\rho_1$  — плотность топлива, кг/м<sup>3</sup>;

Направление силы тяжести совпадает с направлением оси Z и определяется следующим образом:

$$F_{z4} = \frac{1}{6} \pi d_1^3 \rho_2 g. \quad (9)$$

Сила Кулона направлена вдоль вектора напряженности электрического поля. Вектор напряженности в неоднородном электрическом поле изменяется по величине и направлению, поэтому проекция силы Кулона на ось Z определяется равенством

$$F_{z6} = E_z q, \quad (10)$$

где  $q$  — собственный заряд капли, Кл;

$E_z$  — проекция вектора напряженности на ось Z, В/м.

Причиной появления собственного заряда капли может быть контакт с одним из электродов или наличие электрокинетического потенциала, возникающего из-за разности диэлектрической проницаемости воды и топлива. По известному правилу Кена капли воды, имеющие большую диэлектрическую проницаемость, заряжаются положительно. Силу Кулона, действующую на каплю воды, находящуюся вблизи электрода, можно определить по формуле [2]

$$F_{z6} = \frac{3E_z^2 d_1^6 N^2}{8z^4}, \quad (11)$$

$$N = \sqrt{\varepsilon_0 \varepsilon_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 + 2\varepsilon_1}},$$

где  $\varepsilon_0$  — абсолютная диэлектрическая проницаемость воды, Ф/м;

$\varepsilon_1$  — относительная диэлектрическая проницаемость топлива;

$\varepsilon_2$  — относительная диэлектрическая проницаемость воды.

Силу сопротивления движению капли малого радиуса в вязкой среде можно определить по формуле Осена [3]:

$$F = 3\pi\mu_1 d_1 v \left(1 + \frac{3}{16} \text{Re}\right), \quad (12)$$

где  $\text{Re}$  — критерий Рейнольдса.

В движущейся капле под действием силы сопротивления движению возникает циркуляция жидкости, направленная у поверхности в сторону, обратную ее движению, и таким образом уменьшающая трение между каплей и средой. Сопротивление среды движению шарообразной частицы выражается в таком случае следующим образом [4]:

$$F_k = \frac{3\mu_2 + 2\mu_1}{\mu_2 + \mu_1} F, \quad (13)$$

где  $F$  — сила сопротивления твердого шарообразного тела, Н.

С учетом (12) силу сопротивления движению можно определить по формуле

$$F_{z3} = 3\pi\mu_1 d_1 v \left(1 + \frac{3}{16} \text{Re}\right) \frac{3\mu_2 + 2\mu_1}{\mu_2 + \mu_1}. \quad (14)$$

Пондеромоторная сила, направленная в сторону увеличения напряженности поля, возникает из-за разности диэлектрических проницаемостей воды и топлива. Значение проекции на ось Z пондеромоторной силы можно определить по формуле [5]

$$F_{z5} = \frac{1}{8} d_1^3 \varepsilon_0 \varepsilon_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - 2\varepsilon_1} E_z \text{grad} E_z, \quad (15)$$

где  $E_z$  — проекция вектора напряженности на ось Z, В/м;

$\text{grad} E_z$  — проекция градиента напряженности неоднородного электрического поля на ось Z, В/м<sup>2</sup>.

Как видно из выражения (15), величина проекции пондеромоторной силы, действующей на каплю диаметра  $d_1$ , определяется градиентом напряженности поля в направлении оси Z, то есть неоднородностью электрического поля.

Неоднородность электрического поля в системе сеточных электродов обуславливается существенными изменениями его потенциала вблизи электродов. Область между электродами можно разбить на две части: область однородного поля, определяемая напряженностью без учета того, что электрод представляет собой сетку, и "ближнюю область поля", напряженность которой неоднородна. Неоднородность электрического поля объясняется тем, что сеточный электрод представляет собой совокупность тонких проводников. В "ближней области" поля вокруг каждого проводника создается потенциал, который можно рассматривать аналогично как и потенциал систе-

мы «провод-плоскость». В роли плоскости можно рассматривать противоположный электрод. Вблизи проводников напряженность электрического поля, которая представляет собой градиент потенциала, существенно изменяется. При удалении от сетки, согласно принципу суперпозиций, потенциалы всех проводников складываются и влияние каждого из них в отдельности на общее поле становится несущественным. Протяженность «ближней области поля», где оно носит неоднородный характер, зависит от строения ячеек сетки: чем меньше размер ячеек и тоньше проволока сетки, тем меньше размеры ближней области при постоянной разности потенциалов, приложенной к электродам. Если сетка электрода образована равноотстоящими друг от друга проволоками, расстояние между которыми много меньше, чем расстояние между электродами, то такие электроды называются эквидистантными. Потенциал поля бесконечной плоской эквидистантной сетки можно определить следующим образом [6]:

$$\varphi = \frac{q'}{\varepsilon_1 \varepsilon_0} \ln \left[ e^{\frac{4\pi z}{s}} + 1 - 2e^{\frac{2\pi z}{s}} \cos\left(\frac{2\pi y}{s}\right) \right] + \frac{q' 2\pi z}{\varepsilon_1 \varepsilon_0 s}, \quad (16)$$

где  $q'$  — линейная плотность заряда, Кл;

$Z$  — расстояние от электрода, м;

$S$  — расстояние между проволокой в сеточном электроде, м;

$y$  — координата точки, м.

Выражение (16) показывает, что поле сеточного электрода можно рассматривать как наложение однородного и пространственно периодического полей, причем последнее быстро убывает по мере удаления от плоскости сетки. Действительно, если расстояние от электрода значительно превышает расстояние между проволокой, то есть выполняется условие  $Z \gg S$ , то можно записать:

$$e^{\frac{4\pi z}{s}} \gg 1 - 2e^{\frac{2\pi z}{s}} \cos\left(\frac{2\pi y}{s}\right). \quad (17)$$

Тогда потенциал поля в «дальней области» линейно возрастает с увеличением расстояния от электрода:

$$\varphi = \frac{q' 2\pi z}{\varepsilon_1 \varepsilon_0 s}. \quad (18)$$

Таким образом, электрическое поле в системе сеточных электродов в значительной степени определяется пространственными координатами рассматриваемой точки. Вблизи электродов на расстоянии, сравнимом с расстоянием между отдельными проволоками сетки, поле является сильно неоднородным, и потенциал его определяется первым слагаемым выражения (16). По мере удаления от электрода поле сетки становится однородным, и его можно представить как поле бесконечной равномерно заряженной плоскости с поверхностной плотностью  $\sigma = \frac{q'}{s}$ .

Для определения линейной плотности заряда  $q'$  предположим, что потенциал одного из электродов  $\varphi_1$  равен некоторому постоянному значению  $M$ . Тогда, согласно выра-

жению (18), когда расстояние  $h$  между электродами значительно превышает расстояние между проволокой в сетке  $S$ , потенциал другого электрода  $\varphi_2$  будет равен:

$$\varphi_2 = \frac{q' 2\pi h}{\varepsilon_1 \varepsilon_0 s} + M. \quad (19)$$

Тогда с учетом того, что разность потенциалов между электродами  $\varphi_2 - \varphi_1$  представляет собой напряжение  $U$ , приложенное к ним, линейную плотность заряда на сеточном электроде можно определить по формуле

$$q' = \frac{Us\varepsilon_1\varepsilon_0}{2\pi h}, \quad (20)$$

где  $U$  — напряжение между электродами, В;

$h$  — расстояние между электродами, м.

Таким образом, как видно из выражения (20), линейная плотность заряда определяется диэлектрическими свойствами среды, характеристикой сеточного электрода  $S$ , расстоянием между электродами и напряжением, приложенным к ним.

Установив распределение потенциала в пространстве между двумя электродами, можно определить напряженность электрического поля между ними. Как известно, напряженность электрического поля в любой его точке равна градиенту потенциала, взятому с обратным знаком. Тогда проекцию напряженности на ось  $Z$  можно определить, вычислив частную производную выражения (16) по переменной  $z$

$$E_z = -\text{grad} \varphi = \frac{2\pi q' \left[ 3e^{\frac{4\pi z}{s}} - 4e^{\frac{2\pi z}{s}} \cos\left(\frac{2\pi y}{s}\right) + 1 \right]}{s \left[ e^{\frac{4\pi z}{s}} - 2e^{\frac{2\pi z}{s}} \cos\left(\frac{2\pi y}{s}\right) + 1 \right]}. \quad (21)$$

Проекция градиента напряженности на ось  $Z$  можно определить как вторую производную выражения (16) соответственно по переменной  $z$ :

$$\text{grad} E_z = \frac{8\pi q' e^{\frac{2\pi z}{s}} \left[ e^{\frac{4\pi z}{s}} \cos\left(\frac{2\pi y}{s}\right) - 2e^{\frac{2\pi z}{s}} + \cos\left(\frac{2\pi y}{s}\right) \right]}{\varepsilon_1 \varepsilon_0 s^2 \left[ e^{\frac{4\pi z}{s}} - 2e^{\frac{2\pi z}{s}} \cos\left(\frac{2\pi y}{s}\right) + 1 \right]^2}. \quad (22)$$

Как видно из выражений (21) и (22), напряженность и градиент напряженности электрического поля, а следовательно, и пондеромоторная сила определяются конфигурацией электродов, их взаиморасположением, величиной приложенной к электродам разности потенциалов и изменяются в зависимости от координат капли в межэлектродном пространстве.

Подставляя выражения (7)(8)(9)(11)(16)(17) в формулу (6), получим дифференциальное уравнение движения микрокапли в неоднородном электрическом поле:

$$\frac{dv_z}{dt} + b v_z + c v_z^2 - j = 0, \quad (23)$$

где  $b, c, j$  — коэффициенты, определяемые по формулам

$$b = \frac{6\mu_1}{d_1^2 \rho_2} \frac{3\mu_2 + 2\mu_1}{\mu_2 + \mu_1},$$

$$c = \frac{2}{d_1} \frac{3\mu_2 + 2\mu_1}{\mu_2 + \mu_1},$$

$$j = g \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} + \frac{\pi}{4d_1\rho_2} \varepsilon_0 \varepsilon_2 E_\sigma E_x + \frac{3}{4\pi\rho_2} \varepsilon_0 \varepsilon_2 \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{\varepsilon_2 - 2\varepsilon_1} E \operatorname{grad} E_x,$$

Данное дифференциальное уравнение имеет решение следующего вида [7]:

$$v_i = \frac{e^{(i+P)x} (x-b) + x+b}{2c(e^{(i+P)x} - 1)}, \quad (24)$$

где  $P$  — постоянная интегрирования;

$x$  — коэффициент, определяемый следующим образом:

$$x = \sqrt{b^2 + cj}.$$

Постоянную интегрирования можно определить исходя из граничных условий. Предположим, что в момент времени  $t=0$ , когда микрокапля попадает в межэлектродное пространство, скорость ее относительно потока топлива равна скорости осаждения капли под действием силы тяжести  $U_0$ , которая определяется следующим образом:

$$U_0 = \frac{gd_1^2 (\mu_1 + \mu_2)}{6\mu_1 (2\mu_1 + 3\mu_2)} (\rho_1 - \rho_2) \quad (25)$$

Тогда постоянная интегрирования определяется следующим образом:

$$P = \frac{\ln \left[ \frac{x+b+2cv_0}{x-b-2cv_0} \right]}{x} \quad (26)$$

С учетом (2.20) и (2.21) выражение (2.19) позволяет получить зависимости мгновенной скорости микрокапли от ее размера, местоположения в межэлектродном пространстве, расстояния между электродами и приложенного к ним напряжения. Подставляя полученные значения скорости в уравнение (2.3), можно определить долю капель любого диаметра, которая будет задержана в фильтре, и тем самым вычислить коэффициент эффективности.

Таким образом, приведенные формулы позволяют получить математическую модель зависимости эффективности очистки топлива в ФГО от его основных параметров и характеристики поступающей в него эмульсии.

### Методика исследований

Эффективность очистки топлива от воды оценивалась коэффициентом осаждения, определяемым отношением объема воды, задержанной фильтром, к объему воды, поступившей в него с топливом. Значение коэффициента осаждения предлагаемой нами конструкции фильтра изменяется в зависимости от степени дисперсности эмульсии, поступающей в него, конструктивных параметров электродов и напряжения электрического тока. Поэтому для определения эффективности фильтра были получены зависимости коэффициента осаждения от напряжения на электродах при различном вероятнейшем диаметре капель эмульсии. Для этого испытываемый фильтр устанавливался на экспериментальную установку, которая позволяет получить эмульсии заданной концентрации с различной степенью дисперсности, устанавливать заданное значение расхода топлива через испытываемый фильтр и определять концентрацию воды в топливе после очистки. Напряжение на электроды фильтра подводилось от ис-

точника высоковольтных напряжений ВС-23.

Определение дифференциальной функции распределения микрокапель эмульсии по размерам проводилось путем многократного измерения на спектрофотометре СФ-46 динамики изменения оптической плотности в зависимости от времени. Методом регрессионного анализа устанавливалось математическое выражение, которое с достаточной точностью описывает данную зависимость. Определив частную производную полученного выражения по времени, получаем функцию  $F(d)$  [1]. Максимуму данной функции соответствует вероятнейший диаметр капель эмульсии, а точкам пересечения с осью абсцисс максимальный и минимальный диаметры.

Для непрерывного контроля обводненности топлива нами применялся оптический метод, принцип которого основан на измерении ослабления светового потока на каплях эмульсионной воды в контролируемом топливе [2]. Для малоконцентрированных эмульсий оптическая плотность прямо пропорциональна концентрации воды в топливе. Поэтому нами были проведены исследования зависимости оптической плотности эмульсии от концентрации воды в топливе при различной степени ее дисперсности. Полученные данные позволяют определить содержание воды в топливе по результатам измерения оптической плотности с помощью спектрофотометра. Таким образом определялась концентрация воды после очистки  $W_1$  и высчитывался коэффициент осаждения  $K$ , который является характеристикой эффективности фильтра.

### Полученные данные

Полученная математическая модель дает возможность определить влияние различных параметров фильтра на его эффективность, а также решить обратную задачу — найти конструктивные параметры фильтра при заданном коэффициенте осаждения.

В качестве примера нами произведен расчет водоотделяющей способности фильтра для дизельного двигателя 6 ЧН 13/11 (СМД-62). Для этого на специально изготовленной экспериментальной установке посредством седиментационного анализа определялись дифференциальные функции распределения капель по размерам для эмульсий различной степени дисперсности. По формулам (21) и (22) определялись  $E_x$  и  $\operatorname{grad} E_x$  электрического поля при напряжении  $U=3000$ В, расстоянии между электродами  $h=0,93$ м и шаге сетки  $S=0,0005$ м, а затем по формулам (7)...(9) (11) (14) (15) вычислялись силы, действующие на капли различного диаметра. Затем с учетом (23) (25) и (24) по формуле (25) определялась мгновенная скорость капель. Сравнив действительную скорость капли со скоростью, необходимой для ее осаждения, по формуле (4) можно вычислить долю капель данного диаметра, которая задерживается фильтром. Зная функцию распределения эмульсии по размерам капель, из выражений (1)...(3) можно узнать расчетное значение коэффициента осаждения. На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента осаждения от напряжения, подведенного к электродам, при различной степени дисперсности эмульсии, которую можно оценить вероятнейшим размером капель. Как видно из данного рисунка, при повышении напряжения до 3000 В эффективность водоотделения фильтра превышает 0,95, а при напряжении 4000 В становится близкой к единице.

Для определения эффективности очистки топлива от воды при различных значениях напряжения на элект-

тродах были получены зависимости коэффициента пропускания и оптической плотности топлива после очистки от напряжения на электродах при расстоянии между электродами  $h=0,03$  м и номинальном для фильтра ФГ-2 расходе топлива  $Q=75$  кг/ч. На основании этих данных получены соответствующие зависимости  $W_1=f(U)$  и  $K=f(U)$ , которые показаны на рисунке 2.

Приведенные зависимости показывают, что с повышением напряжения на электродах фильтра коэффициент осаждения возрастает для эмульсий различной степени дисперсности. Дальнейшее повышение напряжения приводит к некоторому снижению эффективности очистки топлива. Это объясняется тем, что при повышении напряженности электрического поля свыше некоторого критического значения под действием внешних сил происходит диспергирование микрокапель, поэтому наиболее рациональным при  $h=0,03$  м является напряжение  $U=4000$  В.

Проверка адекватности модели заключается в сравнении остаточной дисперсии и выборочной дисперсии воспроизводимости. Однородность этих дисперсий свидетельствует о том, что предлагаемая математическая модель адекватна экспериментальным данным. Для определения дисперсии воспроизводимости  $D$  оценивались результаты параллельных испытаний при исследовании эффективности фильтра в зависимости от напряжения. Всего было проведено 5 серий наблюдений. Так как вычисленное значение критерия Фишера для сравниваемых дисперсий меньше табличного при числе степеней свободы  $f_1$  и  $f_2$  и выбранном уровне значимости  $p=0,05$ , то гипотеза об однородности сравниваемых дисперсий, а следовательно, и гипотеза об адекватности предлагаемой модели не отвергается.

### Выводы

1. Разработанная математическая модель процесса обезвоживания дизельного топлива в неоднородном электрическом поле позволяет анализировать влияние конструктивных параметров предлагаемой конструкции фильтра-отстойника на эффективность его работы. Полученные зависимости показывают, что наиболее существенное влияние на процесс очистки топлива в фильтре оказывают следующие параметры: напряжение электрического тока, расстояние между электродами, расстояние между проволоками сетки и их диаметр, расход топлива через фильтр, а также степень дисперсности поступающей

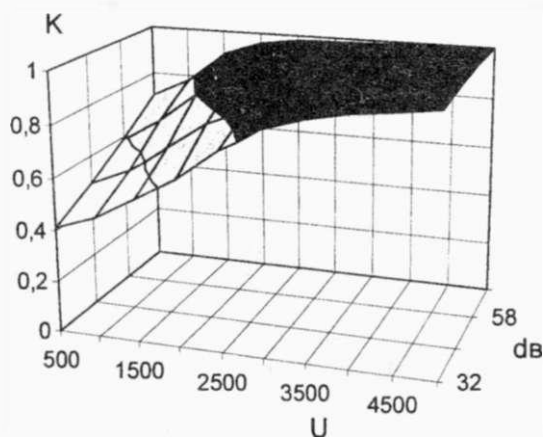


Рис. 1. Расчетное значение зависимости эффективности фильтра  $K$  от напряжения на электродах  $U$  при различной степени дисперсности эмульсий  $dv$

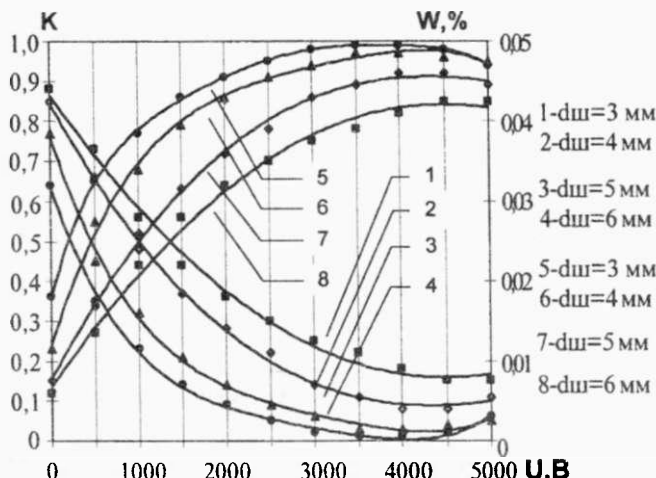


Рис. 2. Экспериментальная зависимость объемного содержания воды в топливе  $W_1$  (1, 2, 3, 4) и коэффициента осаждения  $K$  (5, 6, 7, 8) от напряжения на электродах  $U$  при расходе топлива  $Q=75$  кг/ч

в фильтр эмульсии. Данную математическую модель можно использовать для определения конструктивных параметров фильтра с заданной коэффициентом осаждения.

Расчетные данные для фильтра типа ФГ-75 дизельного двигателя 6ЧН 13/11 (СМД-62) показывают, что при напряжении на электродах  $U=4000$  В, расстоянии между ними  $h=0,03$  м его эффективность по удалению воды из топлива близка к единице.

2. Испытания новой конструкции фильтра показали, что с повышением напряжения между электродами до 3500-4500 В эффективность очистки топлива возрастает для эмульсий различной степени дисперсности. Наиболее приемлемым для принятого расстояния между электродами  $h=0,03$  м является напряжение  $U=4000$  В, так как при более высоких значениях наблюдается ухудшение работы фильтра.

### Литература

1. Сычев В.П. Расчет эффективности дизельных топливных фильтров-отстойников // Двигателестроение. — 1979. — №3. — С.32-33.
2. Грановский М.П., Лавров И.С., Смирнов О.В. Электрообработка жидкостей. — Ленинград: Химия, 1976. — 216 с.
3. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. — Москва: Изд. АН СССР, 1955. — 346 с.
4. Панченков Г.М., Цабек Л.К. Поведение эмульсий во внешнем электрическом поле. — Москва: Химия, 1969. — 190 с.
5. Рыбаков К.В., Жулдыбин В.П., Коваленко В.П. Обезвоживание авиационных горюче-смазочных материалов. — Москва: Транспорт, 1979. — 181 с.
6. Гапонов В.И. Электроника и приборы. — Москва: Наука, 1960. — 591 с.
7. Математические методы решения физических задач / В.В.Харитонов, Д.Г.Лин, В.А.Пенязь и др.; Под общ. ред. В.В.Харитонова. — Минск: Выш. шк., 1991. — 259 с.
8. Клейтон В. Эмульсии. Их теория и технические применения: Пер. с англ / Под ред. П.А.Ребиндера. — Москва: Иностранная литература, 1950. — 679 с.
9. Максютинский П.Ф. Исследование процессов образования эмульсионной воды в реактивных топливах и разработка метода непрерывного контроля ее содержания: Дис. ... канд. техн. наук. — Киев, 1970. — 215 с.