

УДК 656.1

UDC 656.1

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕПЛОвого ПОТОКА В
ДИСПЕРГИРУЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ**

**THEORETICAL STUDIES OF A HEAT FLOW
IN A DISPERSING DEVICE**

Мельников Владимир Сергеевич
аспирант

Melnikov Vladimir Sergeevich
postgraduate student

Горячкина Ирина Николаевна
к.т.н.

Goryachkin Irina Nikolaevna
Cand.Tech.Sci.

Костенко Михаил Юрьевич
д.т.н., доцент

Kostenko Mikhail Yurievich
Dr.Sci.Tech., associate professor

Голиков Алексей Анатольевич
к.т.н.

Golikov Alexey Anatolevich
Cand.Tech.Sci.

Костенко Наталья Алексеевна
к.т.н.

Kostenko Natalia Alekseevna
Cand.Tech.Sci.

Соколов Дмитрий Олегович
студент
*Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Sokolov Dmitry Olegovich
student
*Ryazan State Agrotechnological University named
after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Для очистки и дезинфекции автомобильных
фургонов эффективно применять установку для
обработки рабочих поверхностей
дезинфицирующим аэрозолем. Установка для
дезинфекции представляет собой генератор
горячего тумана с устройством для
диспергирования

For cleaning and disinfection of motor vans we can
effectively apply installation for the treatment of
work surfaces with a disinfectant spray. Disinfection
unit is a generator of hot mist with a device for
dispersing

Ключевые слова: ГЕНЕРАТОР, АЭРОЗОЛЬ,
ФУРГОН, ДЕЗИНФЕКЦИЯ, АВТОМОБИЛЬНЫЙ
ТРАНСПОРТ, ТЕМПЕРАТУРА,
ТЕПЛООБМЕННИК

Keywords: GENERATOR, AEROSOL, VAN,
DISINFECTION, ROAD TRANSPORT,
TEMPERATURE, HEAT EXCHANGER

Для очистки и дезинфекции автомобильных фургонов эффективно применять установку для обработки рабочих поверхностей дезинфицирующим аэрозолем. Установка для дезинфекции представляет собой генератор горячего тумана с устройством для диспергирования. Устройство для диспергирования представляет собой эжектор, в котором происходит подогрев дезинфицирующего раствора и образование дезинфицирующего аэрозоля [1, 2, 3, 4]. Рассмотрим теплоотдачу топочных газов в диспергирующем устройстве, представленном на рисунке 1. Анализ работы аэрозольных генераторов и генераторов

горячего тумана показывает, что движение потока топочных газов происходит в турбулентном режиме [5].

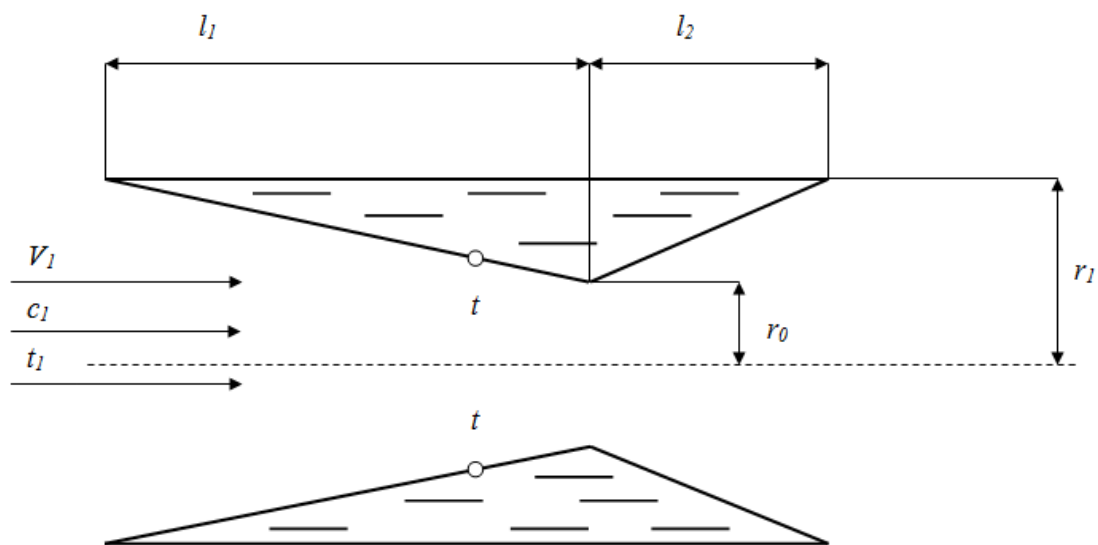


Рисунок 1 – Расчетная схема диспергирующего устройства

Для расчета параметров теплового потока введем следующие допущения:

- в потоке топочных газов отсутствуют внутренние источники теплоты (процесс сгорания топлива происходит только в камере сгорания);
- процесс переноса теплоты в радиальном направлении существенно преобладает над осевым.

В этом случае тепловой осесимметричный стационарный поток топочных газов можно описать выражением[4, 6, 7, 8]:

$$c_1 u_x \frac{\partial t}{\partial x} = \alpha \left(\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} \right) \quad (1)$$

где c_1 – объемная теплоемкость топочных газов (Дж/м³·К);

α – коэффициент теплоотдачи от топочных газов к диспергирующему устройству, Вт/(м²·К);

u_x – осевая скорость топочных газов, м/с;

r – текущий радиус диспергирующего устройства, м;

t – температура стенки диспергирующего устройства, К.

Преобразовав выражение (1), получим уравнение теплового потока:

$$c_1 \cdot u_x r \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial r} [(\alpha + \alpha_T) \cdot r \frac{\partial t}{\partial r}] \quad (2)$$

где α_T – коэффициент турбулентной теплоотдачи от топочных газов к диспергирующему устройству, Вт/(м²·К).

Назначим граничные условия для теплового потока топочных газов в диспергирующем устройстве.

$$\frac{d\bar{t}_1}{dF} = \frac{q_{oy}}{c_1} = const \quad (3)$$

где \bar{t}_1 – средняя температура топочных газов в поперечном сечении, К.

Площадь диспергирующего устройства представляет собой сопряжение конических поверхностей, поэтому:

$$dF = 2\pi k r_0 dx \quad (4)$$

где r_0 – минимальный радиус диспергирующего устройства, м;

k – коэффициент формы диспергирующего устройства.

$$k = \frac{(r_1 + r_0) \cdot l_1 + (r_0 + r_1) \cdot l_2}{r_0(l_1 + l_2)} \quad (5)$$

где r_1 – радиус жаровой трубы, м;

l_1, l_2 – длина диффузора и конфузора диспергирующего устройства,

м.

Изменения температуры топочных газов по длине трубы:

$$\frac{d\bar{t}_1}{dx} = \frac{2q_{oy}}{c_1 \bar{u}_x r_0 k} \quad (6)$$

где \bar{u}_x – средняя скорость топочных газов в поперечном сечении, м/с;

При принятых граничных условиях температура топочных газов будет линейной функцией от длины трубы x .

$$\frac{q_{\partial y}}{\alpha F} = t_1 - t = const \quad (7)$$

Поэтому, при постоянном коэффициенте теплоотдачи изменение температуры стенки диспергирующего устройства так же будет происходить по линейному закону.

$$\frac{\partial t}{\partial x} = \frac{2q_{\partial y}}{c_1 u_x r_0 k} = const \quad (8)$$

С учетом условия (7) выражение (6) запишется в следующем виде:

$$\frac{2q_{\partial y} r u_x}{r_0 k u_x} = \frac{d}{dr} [(\alpha + \alpha_T) r \frac{dt}{dr}] \quad (9)$$

где $\frac{r}{kr_0} = R$ – безразмерная характеристика радиуса;

$\frac{u_x}{u_x} = U_x$ – безразмерная характеристика скорости топочных газов.

С учетом введенных обозначений выражение (8) можно записать в виде:

$$2q_{\partial y} k r_0 U_x R = \frac{d}{dR} [(\alpha + \alpha_T) R \frac{dt}{dR}] \quad (10)$$

Разделим переменные выражения и проинтегрируем в пределах от 0 до R и от 0 до $(\alpha + \alpha_T) R \frac{dt}{dR}$, получим:

$$2q_{\partial y} k r_0 \int_0^R U_x R dR = (\alpha + \alpha_T) R \frac{dt}{dR} \quad (11)$$

Преобразуем, выражение (11) получим:

$$\frac{dt}{dR} = \frac{2q_{\partial y} k r_0}{(\alpha + \alpha_T) R} \int_0^R U_x R dR \quad (12)$$

Средняя температура топочных газов в потоке определяется выражением [4]:

$$t_1 = \frac{1}{f_0 u_x} \int_0^{f_0} u_x t_1 df \quad (13)$$

где f_0 – площадь поперечного сечения диспергирующего устройства, m^2 .

При дальнейших расчетах будем учитывать, что площадь поперечного сечения трубы $f = \pi r^2$, тогда $df = 2\pi r dr$. Тогда выражение (13) можно записать в виде:

$$\bar{t}_1 = \frac{2}{(kr_0)^2} \int_0^{r_0} u_x t_1 r dr \quad (14)$$

С учетом принятых безразмерных характеристик радиуса и скорости средняя скорость топочных газов в поперечном сечении диспергирующего устройства определяется выражением:

$$\bar{t}_1 = 2 \int_0^1 t_1 U_x R dR \quad (15)$$

Учитывая, что подынтегральное выражение представляет собой произведение двух функций, найдем этот интеграл по частям. Для этого введем подстановки $t_1 = u$, $dv = U_x R dR$, тогда $v = \int_0^R U_x R dR$. С учетом

принятых подстановок средняя скорость топочных газов в поперечном сечении диспергирующего устройства вычисляется следующим образом:

$$\bar{t}_1 = 2 \left[t_1 \int_0^R U_x R dR \Big|_0^1 - \int_0^1 \left(\int_0^R U_x R dR \right) dt \right] \quad (16)$$

Задавшись температурой стенки диспергирующего устройства выражение (16) можно записать в виде:

$$\bar{t}_1 = 2 \left[t \int_0^1 U_x R dR \Big|_0^1 - \int_0^1 \left(\int_0^R U_x R dR \right) dt \right] \quad (17)$$

Если перейти от безразмерных величин к обыкновенным, то множитель в скобках выражения (17) будет равен:

$$\int_0^R U_x R dR = \frac{2\pi}{2u_x \pi (kr_0)^2} \int_0^{kr_0} u_x r dr \quad (18)$$

Проинтегрировав выражение (18) получим:

$$\int_0^R U_x R dR = \frac{\bar{u}_x \pi (kr_0)^2}{2 \bar{u}_x \pi (kr_0)^2} = \frac{1}{2} \quad (19)$$

Подставив, выражение (19) в (16) получим:

$$t_1 = t - 2 \int_0^1 \left(\int_0^R U_x R dR \right) dt \quad (20)$$

С учетом выражения (12) выражение (20) можно записать в виде:

$$t_1 = t - \frac{4q_{dy} kr_0}{\alpha} \int_0^1 \frac{\left(\int_0^R U_x R dR \right)^2}{\left(1 + \frac{\alpha_T}{\alpha}\right) R} dR \quad (21)$$

Критерий Нуссельта для турбулентного движения определяется выражением [4, 10]:

$$Nu = \frac{2q_{dy} kr_0}{\alpha(t_1 - t)} = \frac{\left(1 + \frac{\alpha_T}{\alpha}\right) R}{2 \int_0^1 \left(\int_0^R U_x R dR \right)^2} \quad (22)$$

Расчеты критерия Нуссельта на основании формулы (22) в программе MathCad 14 приведены на рисунке 2.

Анализ зависимости показывает, что наибольшее значение критерия Нуссельта соответствует меньшей разности температур топочных газов и стенки диспергирующего устройства. Для работы генератора горячего тумана в установившемся режиме, критерий Нуссельта составит 142,15.

Выразим величину теплового потока конвективного теплообмена топочных газов с внутренней поверхностью диспергирующего устройства из выражения (21) с учетом выражения (22).

$$q_{dy} = \frac{\alpha(t_1 - t)}{2kr_0} \cdot Nu \quad (23)$$

Исследованиями Хутской Н.Г. установлено, что критерий Нуссельта для диффузора аэрозольного генератора определяется эмпирической зависимостью [5]:

$$Nu = 1,62 Re^{0,44} K_1 \quad (24)$$

где Re – критерий Рейнольдса для диффузора аэрозольного генератора ($Re = 3,2 \cdot 10^4 \dots 3,6 \cdot 10^4$ при среднем квадратическом отклонении 12,1 %, при уровне доверительной вероятности 0,95 %);

K_I – коэффициент параметров потока теплоносителя (0,82...0,95).

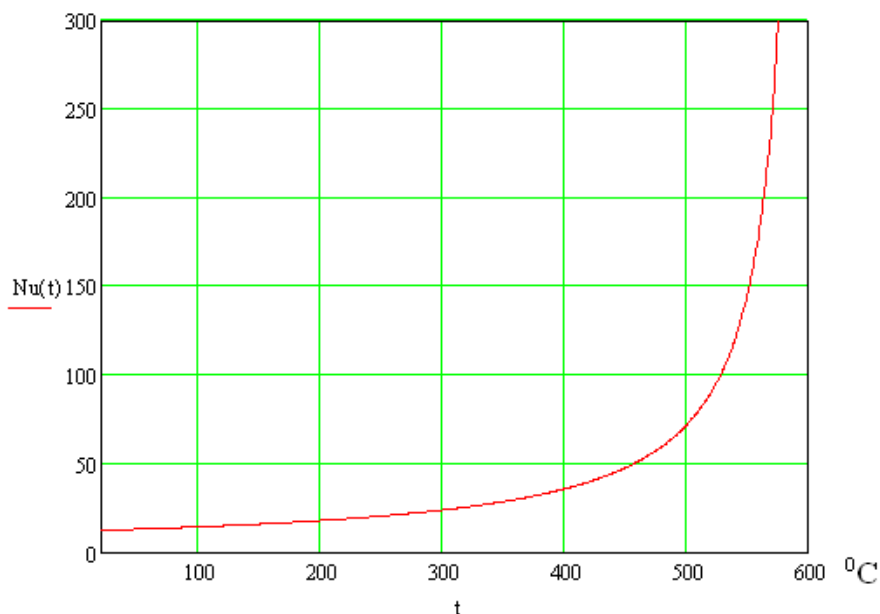


Рисунок 2 – Зависимость критерия Нуссельта от температуры стенки диспергирующего устройства при температуре топочных газов 600 °C

Взаимозависимость критериев Рейнольдса и Нуссельта представлена на рисунке 3.

Анализ рисунка 3 показывает, что методика приближенных вычислений критерия Рейнольдса сопоставима с экспериментальными значениями, приведенными в исследованиях Хутской Н.Г. Для работы генератора горячего тумана в установившемся режиме критерий Рейнольдса составит $3,4 \cdot 10^4$, что соответствует приведенному диапазону $Re = 3,2 \cdot 10^4 \dots 3,6 \cdot 10^4$ при среднем квадратическом отклонении 12,1 %, при уровне доверительной вероятности 0,95 % [5].

Коэффициент параметров потока зависит от соотношений жидкой и газообразной фазы, а так же температур стенки диспергирующего устройства и потока топочных газов.

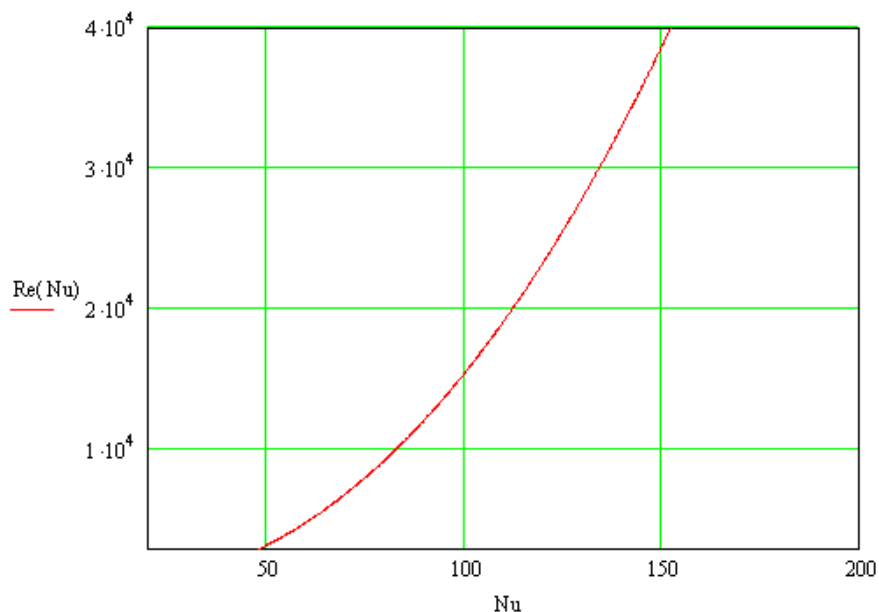


Рисунок 3 – Взаимозависимость критериев Рейнольдса и Нуссельта.

Тепловой расчет отдельных частей генератора горячего тумана позволил определить основные параметры тепловых потоков топочных газов, горячего воздуха, дезинфицирующего раствора, которые образуют горячий туман, представляющий собой дезинфицирующий аэрозоль. Рассмотрим тепломассобмен компонентов горячего тумана, происходящего в сопле генератора. Детерминированная модель процесса тепломассобмена, происходящего в сопле, представлена на рисунке 4.

В процессе образования дезинфицирующей аэрозоли, в диспергирующем устройстве, теплообмен происходит между тремя телами, а именно – топочными газами, дезинфицирующим раствором и горячим воздухом. Так как размеры диспергирующего устройства не велики, а теплоемкость материала незначительная, то в процессе работы, в течение одной минуты происходит полный прогрев, а затем происходит стабильная работа в установленном режиме. Потери теплоты в окружающую среду через стенки диспергирующего устройства в установившемся режиме малы (<3%), поэтому их не учитываем.

Диспергирующее устройство представляет собой термоизолированную систему, так как она не получает энергию извне и не отдает ее, а теплообмен происходит только между телами входящими в нее. Процесс образования дезинфицирующей аэрозоли представленный на рисунке 4 включает в себя подачу топочных газов, с параметрами: V_1 – расход топочных газов, [м³/с], c_1 – объемная теплоемкость топочных газов, [Дж/(м³·К)], t_1 – температура топочных газов, [К], дезинфицирующего раствора, с параметрами: $G_{\partial p}$ – расход дезинфицирующего раствора [кг/с], $t_{\partial p}$ – температура дезинфицирующего раствора, [К], $c_{\partial p}$ – массовая теплоемкость дезинфицирующего раствора, [Дж/(кг·К)].

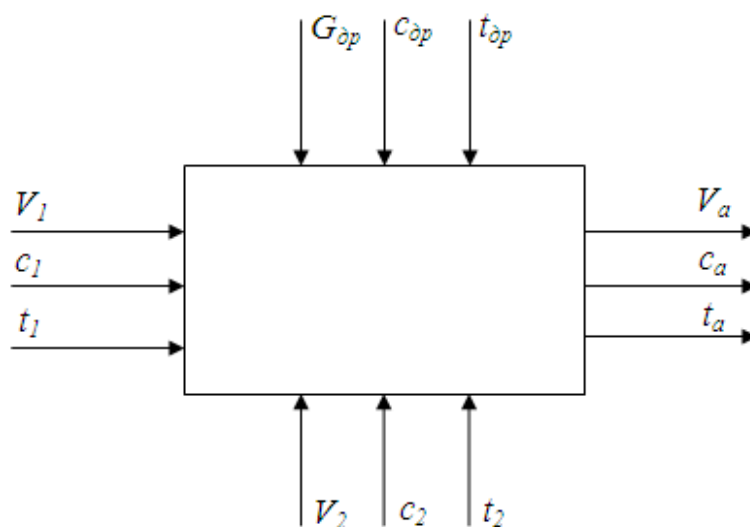


Рисунок 4 – Детерминированная модель процесса образования дезинфицирующего аэрозоля в генераторе горячего тумана

Дезинфицирующий аэрозоль представляет собой дисперсную среду, состоящую из двух фаз. Газообразная фаза представлена топочными газами, жидкая фаза – дезинфицирующим раствором. На практике аэрозоли рассматривают как однородную субстанцию, обладающую усредненными свойствами. Рассмотрим свойства дезинфицирующего аэрозоля образуемого генератором горячего тумана. Средняя плотность

дезинфицирующего аэрозоля можно описать выражением: [11]

$$\rho_{\text{оа}} = \frac{G_{\text{оа}}}{V_{\text{оа}}} \quad (25)$$

где $G_{\text{оа}}$ – массовый расход аэрозоля, кг/с;

$V_{\text{оа}}$ – объемный расход аэрозоля, м³/с.

С учетом того что, в состав аэрозоля входят топочные газы, и дезинфицирующий раствор, средняя плотность дезинфицирующего аэрозоля будет определяться выражением:

$$\rho_{\text{оа}} = \frac{G_1 + G_{\text{др}}}{V_1 + V_{\text{др}}} \quad (26)$$

где G_1 – массовый расход топочных газов, кг/с;

$V_{\text{др}}$ – объемный расход дезинфицирующего раствора, м³/с.

Плотность топочных газов, входящих в состав аэрозоля зависит от температуры и давления. Будем считать, что на выходе из диспергирующего устройства их давление близко к атмосферному, тогда расход газообразных компонентов аэрозоля будет определяться выражениями:

$$G_1 = V_1 \cdot \rho_1 \quad (27)$$

где ρ_1 – плотность топочных газов с учетом температур на выходе из диспергирующего устройства, кг/м³.

С другой стороны средняя плотность дезинфицирующего аэрозоля определяется выражением:

$$\rho_{\text{оа}} = \rho_{\text{др}} \frac{V_{\text{др}}}{V_1 + V_{\text{др}}} + \rho_1 \frac{V_1}{V_1 + V_{\text{др}}} \quad (28)$$

где $\rho_{\text{др}}$ – плотность дезинфицирующего раствора, кг/м³.

Обозначим объемную долю жидкой фазы дезинфицирующего аэрозоля

$$e_1 = \frac{V_{\text{др}}}{V_1 + V_{\text{др}}} \quad (29)$$

Тогда плотность дезинфицирующего аэрозоля определяется выражением:

$$\rho_{\text{oa}} = \rho_{\text{op}} \cdot e_1 + \rho_1(1 - e) \quad (30)$$

Объемная доля жидкой фазы дезинфицирующего аэрозоля может характеризоваться концентрацией дезинфицирующего раствора в аэрозоле.

$$e_1 = Nv \quad (31)$$

где N – среднее число частиц дезинфицирующего раствора в единице объема аэрозоля [$1/\text{м}^3$];

v – средний объем одной частицы дезинфицирующего раствора, м^3 .

Тогда объемную долю жидкой фазы дезинфицирующего аэрозоля:

$$e_1 = \frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^n x_i d_i^3 \quad (32)$$

где x_i – число частиц дезинфицирующего раствора i -й фракции в единице объема аэрозоля [$1/\text{м}^3$];

d – диаметр одной частицы i -й фракции;

n – число фракций аэрозоля.

В сопле генератора горячего тумана происходит смешивание дезинфицирующего аэрозоля с горячим воздухом имеющего следующие параметры V_2 – расход горячего воздуха, [$\text{м}^3/\text{с}$], c_2 – объемная теплоемкость горячего воздуха, [$\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$], t_2 – температура горячего воздуха, [К]. Объемная доля горячего воздуха в дезинфицирующем аэрозоле определяется аналогичным способом:

$$e_2 = \frac{V_2}{V_2 + V_{\text{oa}}} = \frac{V_2}{V_1 + V_2 + V_{\text{op}}} \quad (33)$$

Так как поступление горячего воздуха в сопло происходит за счет разряжения, то давление горячего воздуха будет несколько ниже атмосферного, тогда расход горячего воздуха определится следующим выражением

$$G_2 = V_2 \cdot \rho_2 \quad (34)$$

где ρ_2 – плотность горячего воздуха с учетом температур на выходе из сопла, кг/м³.

С учетом полученных объемных долей дезинфицирующего раствора и горячего воздуха параметры аэрозоля на выходе из сопла определяются следующими выражениями:

$$V_a = V_1 + V_{op} + V_2 = V_1 + e_1 V_1 + e_2 (V_1 + e_1 V_1) = V_1 (1 + e_1 + e_2 + e_1 \cdot e_2) \quad (35)$$

Тогда температура аэрозоля на выходе из сопла с учетом неразрывности потока определится выражением:

$$t_a = \frac{V_1 c_1 t_1 + V_2 c_2 t_2 + V_{op} c'_{op} t_{op}}{V_a c_a} \quad (36)$$

где c'_{op} – объемная теплоемкость дезинфицирующего раствора, Дж/(м³·К);

V_a – объемный расход аэрозоля на выходе из сопла генератора горячего тумана, м³/с;

c_a – объемная теплоемкость аэрозоля на выходе из сопла генератора горячего тумана, Дж/(м³·К);

t_a – температура аэрозоля на выходе из сопла генератора горячего тумана, К.

$$c_a = \frac{V_1 c_1 + V_2 c_2 + V_{op} c'_{op}}{V_1 + V_2 + V_{op}} \quad (37)$$

Поток аэрозоля генератора горячего тумана направляется на рабочие поверхности фургона для дезинфекции. Эффективность обработки в этом случае будет зависеть от температуры аэрозоля, расстояния сопла генератора горячего тумана до обрабатываемой поверхности и ширины распыла факела аэрозоля. Производительность генератора горячего тумана в этом случае определится следующим выражением:

$$W = \mu \frac{V_a}{h} \quad (38)$$

где μ – коэффициент распределения аэрозоля;

h – расстояние от сопла генератора горячего тумана до обрабатываемой поверхности, м.

Качество дезинфекции рабочих поверхностей фургона будет зависеть от сплошности пленки дезинфицирующего раствора на обрабатываемых поверхностях. Исследованиями установлено, что устойчивая пленка жидкости на обрабатываемой поверхности возможна при ее толщине 70...100 мкм. Тогда необходимый объем дезинфицирующего раствора, приходящийся, на единицу обрабатываемой поверхности определяется выражением [9]:

$$v_{y\partial} = \frac{V_{op} \cdot T_{обp}}{S} \quad (39)$$

где $T_{обp}$ – время обработки, с;

S – площадь обрабатываемой поверхности, м².

Выразим из выражения (39) величину объемного расхода дезинфицирующего раствора:

$$V_{op} = \frac{v_{y\partial} \cdot S}{T_{обp}} \quad (40)$$

Расход топочных газов для обеспечения необходимого объемного расхода дезинфицирующего раствора определяется выражением:

$$V_1 = \frac{e_1}{1 - e_1} V_{op} \quad (41)$$

Выразим расход топочных газов через производительность генератора горячего тумана с учетом выражения (35):

$$V_1 = \frac{W \cdot h}{\mu(1 + e_1 + e_2 + e_1 \cdot e_2)} \quad (42)$$

Приравняв выражения (41) и (42) получим формулу для расчета производительности генератора горячего тумана:

$$W = \frac{(1 + e_1)(1 + e_2)}{1 - e_1} \frac{\mu v_{y\partial} S}{h T_{обp}} \frac{\pi}{6} \sum_{i=1}^n x_i d_i^3 \quad (43)$$

Применение диспергирующего устройства в конструкции генератора горячего тумана позволяет существенно увеличить передачу тепла от топочных газов к дезинфицирующему раствору. Анализ работы диспергирующего устройства показывает, что наибольшее значение критерия Нуссельта соответствует меньшей разности температур топочных газов и стенки диспергирующего устройства. Для работы генератора горячего тумана в установившемся режиме, критерий Нуссельта составит 142,15.

Установлено что наиболее важными факторами, влияющими, на производительность генератора горячего тумана являются размеры облака тумана и время обработки, с другой стороны эффективность обработки будет зависеть от концентрации дезинфицирующего аэрозоля. Также эффективность дезинфицирующей обработки рабочих поверхностей будет зависеть от температуры и дисперсности аэрозоля.

Список литературы

1. Пат. 142474 Российская Федерация, МПК А61L2/07. Установка для обработки рабочих поверхностей дезинфицирующим раствором с помощью водяного пара / Мельников В.С., Костенко М.Ю., Горячкина И.Н.; патентообладатель: Мельников В.С.. - №2014111358/15; заявл. 25.03.2014; опубл. 27.06.2014, бюл. №18.
2. Мельников, В.С. Способ дезинфекции фургонов и помещений / В.С. Мельников, И.Н. Горячкина, М.Ю. Костенко // Современная наука глазами молодых ученых: материалы межвузовской научно-практической конференции. - Рязань: Изд-во ФГБОУ ВПО РГТУ, 2014. – Ч. 1. – С. 81-86.
3. Тепловой баланс генератора горячего тумана с устройством для диспергирования [Электронный ресурс] / В.С. Мельников [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – №102. - С. 864 – 876. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/08/pdf/54>.
4. Теория тепломассообмена: учебник для вузов/ С.И. Исаев, И.А. Кожинов, В.И. Кофанов и др.; Под ред. А. И. Леонтьева. – М.: Высш. школа, 1979. – 495 с., ил.
5. Хутская Н.Г. Характеристики теплообмена и сопротивления воздушно-водяных потоков в каналах применительно к теплоиспользующим устройствам: Дисс. канд. техн. наук. Минск, 1983. - 248 с.
6. Черняк О.В. Основы теплотехники и гидравлики: учебник / О.В. Черняк, Г.Б. Рыбчинская. – 3-е изд. сокр., перераб. – М.: Высш. школа, 1979. – 246 с.

7. Юдаев Б.Н. Теплопередача: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1981. – 319 с.
8. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент.: Справочник/ Под общ.ред. чл.-корр. АН СССР В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергопромиздат, 1988. – 560 с.
9. Романенко П.Н. Гидродинамика и тепломассообмен в пограничном слое. М., «Энергия», 1974. – 464 с.
10. Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. – М.: Наука, 1981. – 447с.
11. Макроскопические свойства дисперсных систем: учеб.-метод. пособ. / С.Б. Коныгин, Д.А.Крючков. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2007. - 22 с.

References

1. Pat. 142474 Rossijskaja Federacija, МРК А61L2/07. Ustanovka dlja obrabotki rabocnih poverhnostej dezinficirujushhim rastvorom s pomoshh'ju vodjanogo para / Mel'nikov V.S., Kostenko M.Ju., Gorjachkina I.N.; patentoobladatel': Mel'nikov V.S.. - №2014111358/15; zajavl. 25.03.2014; opubl. 27.06.2014, bjul. №18.
2. Mel'nikov, V.S. Sposob dezinfekcii furgonov i pomeshhenij / V.S. Mel'nikov, I.N. Gorjachkina, M.Ju. Kostenko // Sovremennaja nauka glazami molodyh uchenyh: materialy mezhvuzovskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. - Rjazan': Izd-vo FGBOU VPO RGATU, 2014. – Ch. 1. – S. 81-86.
3. Teplovoj balans generatora gorjachego tumana s ustrojstvom dlja dispergirovaniya [Jelektronnyj resurs] / V.S. Mel'nikov [i dr.] // Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – №102. - S. 864 – 876. – Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/08/pdf/54>.
4. Teorija teplomassoobmena: uchebnik dlja vuzov/ S.I. Isaev, I.A. Kozhinov, V.I. Kofanov i dr.; Pod red. A. I. Leont'eva. – М.: Vyssh. shkola, 1979. – 495 s., il.
5. Hutskaja N.G. Harakteristiki teploobmena i soprotivlenija vozdušno-vodjanyh potokov v kanalakh primenitel'no k teploispol'zujushhim ustrojstvam: Diss. kand. tehn. nauk. Minsk, 1983. - 248 s.
6. Chernjak O.V. Osnovy teplotehniki i gidravliki: uchebnik / O.V. Chernjak, G.B. Rybchinskaja. – 3-e izd. sokr., pererab. – М.: Vyssh. shkola, 1979. – 246 s.
7. Judaev B.N. Teplperedacha: uchebnik dlja vuzov. – 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Vyssh. shkola, 1981. – 319 s.
8. Teoreticheskie osnovy teplotehniki. Teplotehnicheskij jeksperiment.: Spravochnik/ Pod obshh.red. chl.-korr. AN SSSR V.A. Grigor'eva, V.M. Zorina. – 2-e izd., pererab. – М.: Jenergopromizdat, 1988. – 560 s.
9. Romanenko P.N. Hidrodinamika i teplomassoobmen v pograničnom sloe. М., «Jenergija», 1974. – 464 s.
10. Sedov L.I. Metody podobija i razmernosti v mehanike. – М.: Nauka, 1981. – 447s.
11. Makroskopicheskie svojstva dispersnyh sistem: ucheb.-metod. posob. / S.B. Konygin, D.A.Krjuchkov. – Samara: Samar. gos. tehn. un-t, 2007. - 22 s.