

УДК 656.1

UDC 656.1

**ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ГЕНЕРАТОРА
ГОРЯЧЕГО ТУМАНА С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ
ДИСПЕРГИРОВАНИЯ**

**HEAT BALANCE OF A GENERATOR OF HOT
MIST WITH A DEVICE FOR DISPERSING**

Мельников Владимир Сергеевич
аспирант

Melnikov Vladimir Sergeevich
postgraduate student

Горячкина Ирина Николаевна
к.т.н.

Goryachkina Irina Nikolaevna
Cand.Tech.Sci.

Костенко Михаил Юрьевич
д.т.н., доцент

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

Голиков Алексей Анатольевич
аспирант

Golikov Alexey Anatolievich
postgraduate student

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 Dmitriy Olegovich
student
*Ryazan State Agrotechnological University Named
After P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Представленная в данной статье технологическая
схема диспергирующего устройства позволяет
повысить эффективность очистки и дезинфекции
автомобильных фургонов специализированными
растворами

We have presented the technological scheme of a
dispersal device which allows to increase the
efficiency of cleaning and disinfection of automotive
vans with specialized solutions

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

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

Автомобильный транспорт нашел широкое применение для перевозки животных и сельскохозяйственной продукции в агропромышленном комплексе, что позволяет упростить и ускорить транспортировку на перерабатывающие предприятия и реализацию. При эксплуатации техники необходимо соблюдать санитарные требования, а именно проводить регулярную очистку и дезинфекцию фургонов транспортных средств [1, 2].

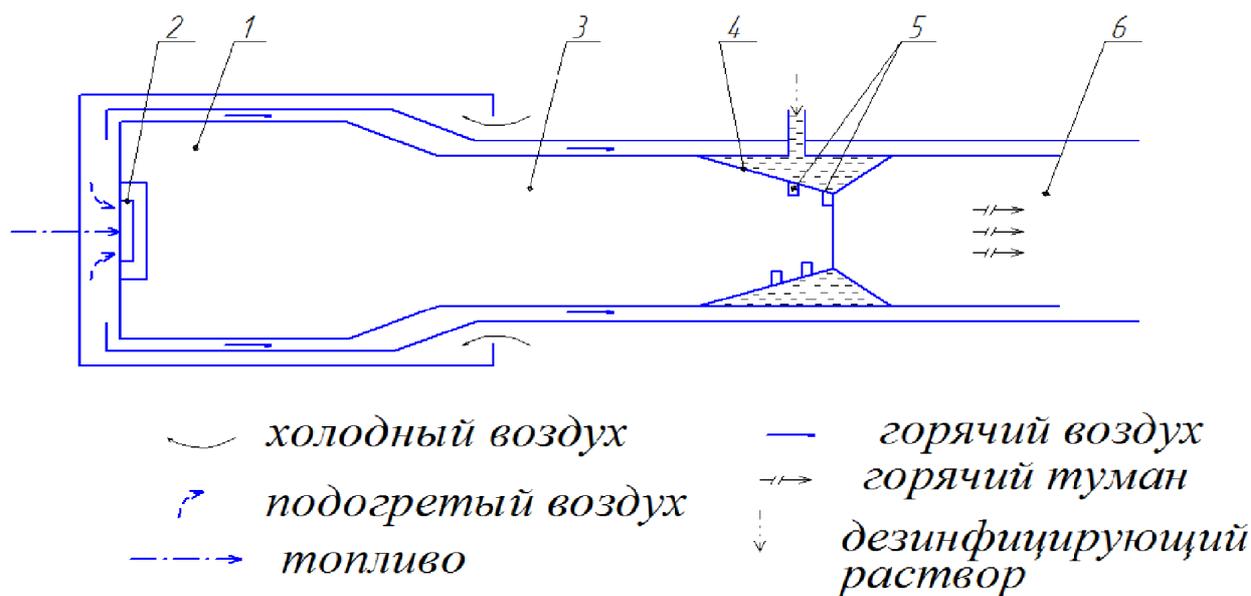
Во время транспортировки в автомобильном фургоне возникают благоприятные условия для развития патогенной микрофлоры, такие как: высокая влажность, температура, наличие питательной среды и при

попадании опасных и вредных микроорганизмов на рабочие поверхности, а именно стенки и пол, начинается их развитие и рост. Все это может привести к заражению уже готовой продукции и снижению ее сохранности и качества [1, 3].

Для проведения очистки и дезинфекции автомобильных фургонов нами предложено использовать 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 [4]. Технологическая схема устройства для проведения очистки и дезинфекции автомобильных фургонов представлена на рисунке 1.

Устройство содержит в себе камеру сгорания 1, в которой выполнена смесительная камера 2 с форсункой и свечой зажигания [5]. Подача воздуха в смесительную камеру происходит по специальным каналам, которые в установившемся режиме осуществляют подогрев воздуха. В результате сгорания топлива объем газовой смеси существенно увеличивается и поступает в жаровую трубу 3. Благодаря омыванию стенок жаровой трубы генератора, воздух дополнительно нагревается и поступает в выходное сопло 6. В конце жаровой трубы установлено диспергирующее устройство 4, которое представляет собой эжектор с коническими стенками, которые образуют со стенками жаровой трубы дополнительную трубчатую камеру для теплообмена топочных газов с дезинфицирующей жидкостью. Нагрев дезинфицирующей жидкости способствует созданию лучших условий для диспергирования. Находящиеся в диспергирующем устройстве распылители 5 располагаются по винтовой линии и имеют скосы под углом 45° для образования завихрений потока топочных газов. Образовавшийся в результате

испарения аэрозоль смешивается с горячим воздухом и образует горячий туман. За счет разности температур пара и рабочих поверхностей фургона происходит фазовый переход и конденсация дезинфицирующего раствора, что способствует улучшению адгезии раствора с рабочей поверхностью. Высокая адгезия раствора с поверхностью способствует созданию пленки дезинфицирующего вещества, которая в свою очередь будет препятствовать размножению патогенных микроорганизмов [2, 4].



- 1- камера сгорания; 2- смесительная камера; 3- жаровая труба;
 4- диспергирующее устройство; 5- распылители; 6- выходное сопло

Рисунок 1 – Технологическая схема устройства для проведения очистки и дезинфекции автомобильных фургонов

Таким образом, обеспечение высокой дисперсности аэрозоля достигается применением диспергирующего устройства, которое позволяет повысить температуру дезинфицирующего раствора и создать завихрение потоков топочных газов при диспергировании раствора.

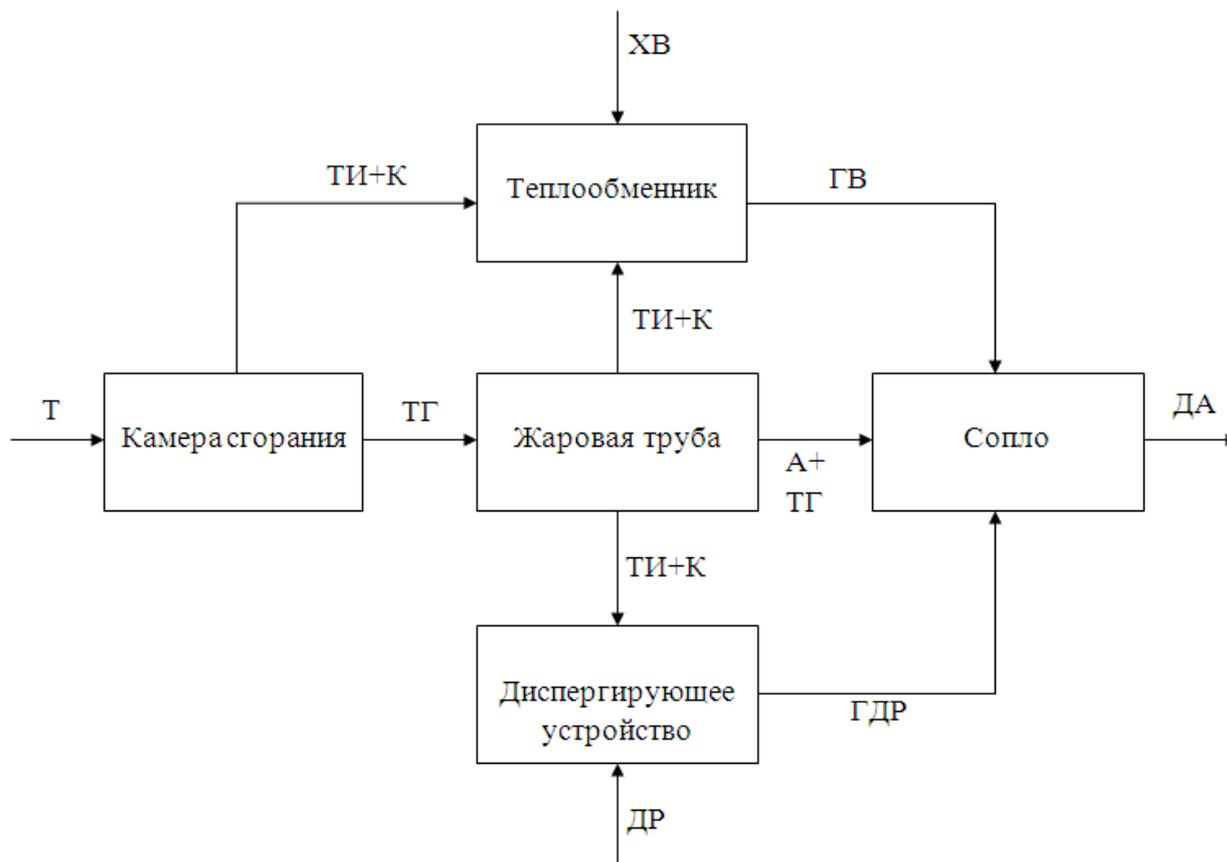
Условия образования аэрозоли и ее дисперсность будут зависеть от следующих факторов: количество теплоты выделяемого при сгорании топлива; тепловые потери в окружающую среду; температуры

дезинфицирующего раствора. Поэтому необходимо рассмотреть тепловой баланс генератора горячего тумана, исследовать теплообмен между топочными газами и дезинфицирующим раствором в диспергирующем устройстве [6].

Работа генератора горячего тумана основана на сгорании жидкого топлива – бензина. Принципиальная схема генератора горячего тумана представлена на рисунке 2.

Входные параметры генератора горячего тумана обусловлены параметрами исходных компонентов, обеспечивающих работу: бензин, воздух, дезинфицирующий раствор. Входными параметрами камеры сгорания являются: объем бензина V , теплотворная способность q , плотность бензина γ , а так же количество воздуха, характеризуемое коэффициентом избытка воздуха β . Дезинфицирующий раствор будет характеризоваться расходом $G_{др}$, массовой теплоемкостью $c_{др}$, начальной температурой $t_{др1}$. Входными параметрами воздуха будут: расход V_2 , объемная теплоемкость $c_в$, температура окружающего воздуха t_3 . Генератор горячего тумана является сложной термодинамической системой, в которой присутствует внутренний теплообмен, который способствует сокращению потерь в окружающую среду. В процессе теплообмена в генераторе горячего тумана учувствуют два теплообменника. Первый теплообменник представляет собой коаксиальную трубную конструкцию. Воздушный теплообмен будет характеризоваться коэффициентом теплопередачи α_{mn} , разницей температур Δt и площадью поверхности теплообменника F . Второй теплообменник – диспергирующее устройство, выполненный, в виде конфузора-диффузора служит для нагрева дезинфицирующего раствора. Теплообмен между ними будет определяться с одной стороны параметрами топочных газов, а именно: расход V_1 , температура t_1 , теплоемкость c_1 , с другой стороны расходом дезинфицирующего раствора

$G_{др}$, а так же коэффициентами теплопроводности теплообменников генератора горячего тумана. Сопло обеспечивает смешивание потоков горячего воздуха и образованного в диспергирующем устройстве горячего тумана [7, 8].



Т – топливо; ТГ – топочные газы; А+ТГ – аэрозоль + топочные газы;
 ДА – дезинфицирующий аэрозоль; ТИ+К – тепловое излучение + конвекция; ДР – дезинфицирующий раствор; ГДР – горячий дезинфицирующий раствор; ХВ – холодный воздух; ГВ – горячий воздух.

Рисунок 2 – Принципиальная схема генератора горячего тумана

Процесс горения будет характеризоваться поступлением топлива и воздуха необходимого для образования горючей смеси. Масса топлива будет равна[5]:

$$m_T = V \cdot \gamma, \tag{1}$$

где m_T – масса топлива (бензина), кг;

V – объем топлива, м³;

γ – плотность топлива (710 кг/м^3).

Теплота сгорания топлива в горелке будет определяться выражением:

$$Q = q \cdot m_T, \quad (2)$$

где q – теплота сгорания бензина, (29000 кДж/кг).

Для сгорания горючей смеси необходимо в камеру сгорания подавать воздух в строго определенных количествах, который характеризуется коэффициентом избытка воздуха. В тоже время расход воздуха для сжигания топлива существенно меньше, чем расход воздуха на образование горячего тумана, поэтому при расчете камеры сгорания мы не учитываем нагрев воздуха поступающего в камеру сгорания [7, 8].

Что бы уменьшить потери теплоты в окружающую среду, камера сгорания и жаровая труба генератора горячего тумана омываются потоком воздуха, который затем направляется в сопло для повышения температуры образуемой аэрозольной смеси.

Исследование теплообмена в генераторе горячего тумана.

Рассмотрим тепловой баланс генератора горячего тумана с учетом процессов теплообмена с окружающей средой. На рисунке 3 изображена часть жаровой трубы с указанием тепловых потоков, возникающих во время работы генератора горячего тумана.

При исследовании баланса теплоты в генераторе горячего тумана, введем следующие допущения [9]:

- потоки теплоносителя в жаровой трубе генератора горячего тумана движутся преимущественно вдоль оси трубы (не учитываются завихрения);
- стенки жаровой трубы генератора горячего тумана являются термически тонкими (не учитывается термическое сопротивление стенок);
- в процессе теплообмена генератора горячего тумана с внешней

средой, тепловое излучение преобладает по отношению к конвективному теплообмену;

- процесс теплообмена на длине расчетного участка l будем считать равномерным (длина участка не превышает 0,2 м).

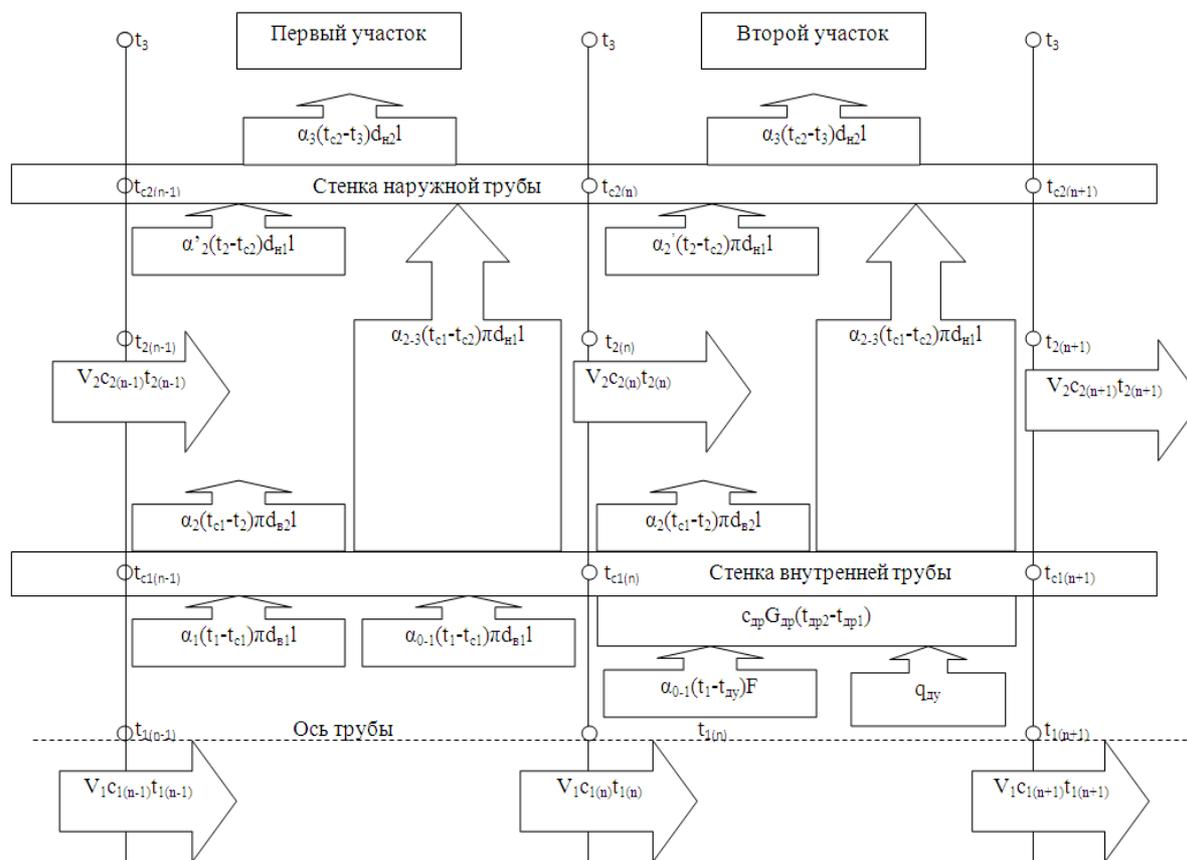


Рисунок 3 – Баланс теплоты в генераторе горячего тумана

Рассмотрим тепловой баланс жаровой трубы генератора горячего тумана на двух участках. На первом участке происходит теплообмен между топочными газами и горячим воздухом, участвующим в образовании горячего тумана. На втором участке в процессе теплообмена между топочными газами и горячим воздухом, дополнительно участвует дезинфицирующий раствор.

Рассмотрим тепловой баланс процесса теплообмена на первом участке. В процессе работы генератора горячего тумана, в установившемся режиме, изменение температуры топочных газов преобразуется в нагрев

внутренней стенки жаровой трубы. С учетом неразрывности потока данный процесс можно описать выражением:

$$V_1 c_{I(n-1)} t_{I(n-1)} - V_1 c_{I(n)} t_{I(n)} = \alpha_I (t_I - t_{c1}) \pi d_{61} l + \alpha_{0-I} (t_I - t_{c1}) \pi d_{61} l \dots \dots \dots (3)$$

где V_I – расход топочных газов, м³/с;

$c_{I(n-1)}, c_{I(n)}$ – объемные теплоемкости топочных газов, с учетом изменения параметров потока, Дж/(м³·К);

$t_{I(n-1)}, t_{I(n)}$ – температуры топочных газов, с учетом изменения параметров потока, К;

t_{c1}, t_{c2}, t_I – температура стенок внутренней и наружной труб и температура топочных газов, на расчетном участке, К;

α_I – коэффициент теплоотдачи от топочных газов к внутренней стенке жаровой трубы генератора горячего тумана, Вт/(м²·К);

α_{0-I} – коэффициент теплоотдачи излучением от топочных газов к внутренней стенке ($5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon_T [(t_{c1})^4 - (t_{c2})^4] / (t_{c1} - t_{c2})$), Вт/(м²·К);

ε_T – приведенная степень черноты топочных газов и внутренней трубы;

d_{61} – диаметр внутренней стенки внутренней трубы, м;

l – длина расчетного участка, м.

В процессе теплообмена через стенку внутренней трубы, баланс теплоты описывается выражением:

$$[\alpha_I (t_I - t_{c1}) \pi d_{61} l + \alpha_{0-I} (t_I - t_{c1}) \pi d_{61} l] \cdot \eta_I = \alpha_{2-3} (t_{c1} - t_{c2}) \pi \cdot \varphi d_{n1} l + \alpha_2 (t_{c1} - t_2) \pi d_{62} l (4)$$

где α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки внутренней трубы к горячему воздуху, Вт/(м²·К);

α_{2-3} – коэффициент теплоотдачи излучением от внутренней к наружной трубе генератора горячего тумана ($5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon_{c1} [(t_{c1})^4 - (t_{c2})^4] / (t_{c1} - t_{c2})$), Вт/(м²·К);

φ – коэффициент рассеивания и пересчета поверхности нагрева лучистой энергии.

ε_{c1} – приведенная степень черноты внутренней и наружной трубы;

t_2 – температура горячего воздуха, К;

d_{n1} – диаметр внутренней стенки наружной трубы, м;

d_{e2} – диаметр наружной стенки внутренней трубы, м;

η_1 – коэффициент рассеивания тепла внутренней трубы.

Так как воздух является оптически прозрачной средой, то нагрев воздуха излучением внутренней трубы минимален, поэтому тепловой баланс потока горячего воздуха описывается выражением:

$$V_2 c_{2(n)} t_{2(n)} - V_2 c_{2(n-1)} t_{2(n-1)} = \alpha'_2 (t_2 - t_{c2}) d_{n1} l \quad (5)$$

где V_2 – расход горячего воздуха, м³/с;

$c_{2(n)}$, $c_{2(n-1)}$ – объемные теплоемкости горячего воздуха, с учетом изменения параметров потока, Дж/(м³·К);

$t_{2(n-1)}$, $t_{2(n)}$ – температуры горячего воздуха, с учетом изменения параметров потока, К;

α'_2 – коэффициент теплоотдачи от горячего воздуха к стенке внутренней трубы, Вт/(м²·К);

В процессе теплообмена через стенку наружной трубы, баланс теплоты описывается выражением:

$$\alpha_3 (t_{c2} - t_3) d_{n2} l = [\alpha_2 (t_2 - t_{c2}) d_{n1} l + \alpha_{2-3} (t_{c1} - t_{c2}) \pi \cdot \varphi d_{n1} l] \cdot \eta_2 \quad (6)$$

где α_3 – коэффициент теплоотдачи от стенки наружной трубы к воздуху окружающей среды, Вт/(м²·К);

t_3 – температура воздуха окружающей среды, К;

d_{n2} – диаметр наружной стенки наружной трубы, м;

η_2 – коэффициент рассеивания тепла наружной трубы.

Рассмотрим тепловой баланс процесса теплообмена на втором участке. В процессе работы генератора горячего тумана, в установившемся режиме, изменение температуры топочных газов преобразуется в нагрев внутренней стенки диспергирующего устройства, что приводит к нагреву дезинфицирующего раствора. Тепловой поток в этом случае будет определяться расходом дезинфицирующего раствора, его теплоемкостью и

изменением температуры. С учетом неразрывности потока данный процесс можно описать выражением:

$$V_1 c_{1(n)} t_{1(n)} - V_1 c_{1(n+1)} t_{1(n+1)} = \alpha_{0-1} (t_1 - t_{\partial y}) F + q_{\partial y} \quad (7)$$

Где $c_{1(n+1)}$ – объемная теплоемкость топочных газов, с учетом изменения параметров потока, Дж/(м³·К);

$t_{1(n+1)}$, – температура топочных газов, с учетом изменения параметров потока, К;

$t_{\partial y}$ – температура стенки диспергирующего устройства, К;

F – площадь внутренней поверхности диспергирующего устройства, м².

$q_{\partial y}$ – тепловой поток конвективного теплообмена топочных газов с внутренней поверхностью диспергирующего устройства, Вт;

В процессе теплообмена через диспергирующее устройство, баланс теплоты учитывает нагрев дезинфицирующего раствора и описывается выражением:

$$[\alpha_{0-1} (t_1 - t_{\partial y}) F + q_{\partial y} - c_{\partial p} G_{\partial p} (t_{\partial p2} - t_{\partial p1})] \cdot \eta_1 = \alpha_{2-3} (t_{c1} - t_{c2}) \pi \cdot \varphi d_{н1} l + \alpha_2 (t_{c1} - t_2) \pi d_{с2} l \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

$c_{\partial p}$ – массовая теплоемкость дезинфицирующего раствора, Дж/(кг·К);

$G_{\partial p}$ – расход дезинфицирующего раствора, кг/с;

$t_{\partial p1}$ – начальная температура дезинфицирующего раствора, К;

$t_{\partial p2}$ – конечная температура дезинфицирующего раствора, К;

Так как воздух является оптически прозрачной средой, то нагрев воздуха излучением внутренней трубы минимален, поэтому тепловой баланс потока горячего воздуха описывается выражением:

$$V_2 c_{2(n+1)} t_{2(n+1)} - V_2 c_{2(n)} t_{2(n)} = \alpha_2 (t_2 - t_{c2}) \pi d_{н1} l \quad (9)$$

$c_{2(n+1)}$ – объемная теплоемкость горячего воздуха, с учетом изменения параметров потока, Дж/(м³·К);

$t_{2(n+1)}$ – температура горячего воздуха, с учетом изменения параметров потока, К;

В процессе теплообмена через стенку наружной трубы, баланс теплоты описывается выражением:

$$\alpha_3(t_{c2}-t_3)d_{n2}l=[\alpha_2'(t_2-t_{c2})\pi d_{n1}l+\alpha_{2-3}(t_{c1}-t_{c2})\pi\varphi d_{n1}l]\cdot\eta_2 \quad (10)$$

Рассмотренные уравнения теплового баланса на первом участке (формулы с 3 по 6) и на втором участке (формулы с 7 по 10) позволяют оценить движение тепловых потоков внутри жаровой трубы генератора горячего тумана. Решая совместно уравнения, полученные для каждого из участков, задавшись параметрами процесса температурой, расходом газов и дезинфицирующего раствора, возможно, определить коэффициенты теплоотдачи и обосновать рациональные параметры установки [6]. Для оценки эффективности работы диспергирующего устройства следует провести сравнительный анализ тепловых потоков и в итоге оценить потери теплоты в окружающую среду. Для этой цели нами было проведено моделирование процессов в программе MathCad 14, зависимость изменения мощности тепловых потоков в радиальном направлении трубы генератора горячего тумана приведена на рисунке 4 [6].

Анализ зависимости показывает, что применение диспергирующего устройства в конструкции жаровой трубы позволяет существенно увеличить передачу тепла от топочных газов к стенке внутренней трубы, что будет способствовать нагреву дезинфицирующего раствора. Так же благодаря снижению тепловых потоков от внутренней трубы к наружной, уменьшаются потери теплоты генератора горячего тумана в окружающую среду.

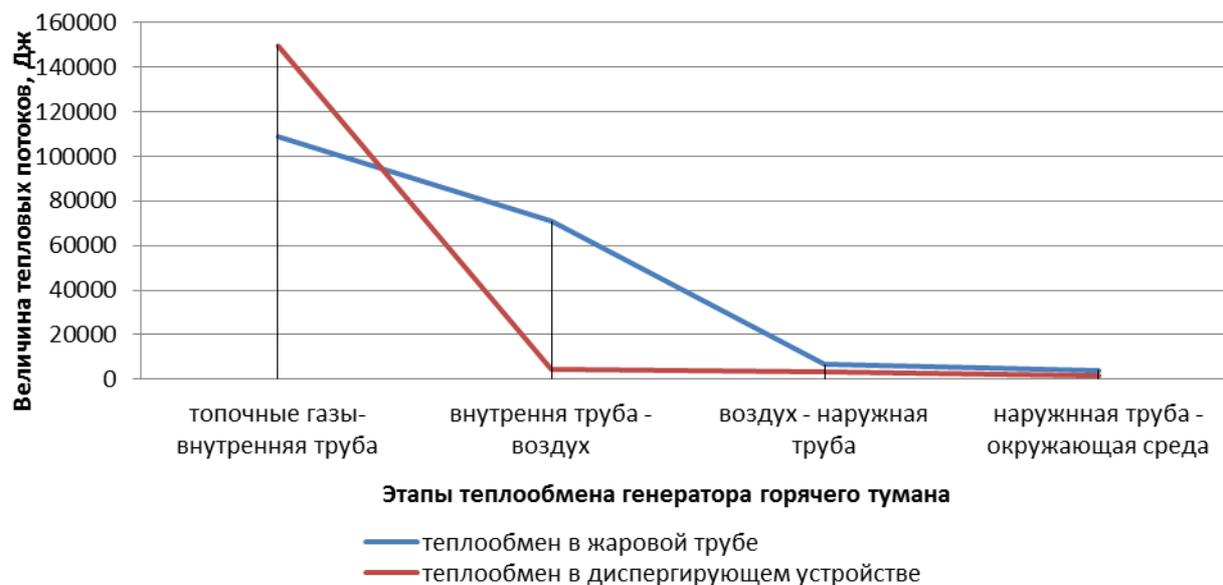


Рисунок 4 – Зависимость изменения мощности тепловых потоков в радиальном направлении трубы генератора горячего тумана

Генераторы горячего тумана обеспечивают равномерное распределение частиц дезинфицирующего раствора внутри фургонов для перевозки сельскохозяйственной продукции. Эффективность обработки увеличивается с повышением температуры аэрозоля.

Список литературы

1. Механизация и технология производства продукции животноводства / В.Г. Коба [и др.]. - М.: Колос, 1999. – 528 с.
2. Рошин, П.М. Механизация в животноводстве / П.М. Рошин. – М.: Агропромиздат, 1988. – 287 с.
3. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов / В.А. Медведский [и др.]. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 60 с.
4. Шилов, В.Е. Устройство и техническое обслуживание дезинфекционного оборудования / В.Е. Шилов, А.Ф. Князев, Е.А. Булашов. - М.: Агропромиздат, 1991. – 351 с.
5. 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.
6. 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 РГАТУ, 2014. – Ч. 1. – С. 81-86.

7. Новиков, И.И. Термодинамика: учебное пособие / И.И. Новиков. – М.: Машиностроение, 1984. – 592 с.

8. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент / В.А. Григорьева, В. М. Зорина. – 2 изд., перераб. – М.: Энергопромиздат, 1988. – 560 с.

9. Хоанг, Х.Х. Исследование сложного теплообмена в трубах Фильда и их использование в энергосберегающей схеме стекловаренной установки: дис. канд. техн. наук / Х.Х. Хоанг. - М., 2010. - 143 с.

References

1. Mehanizacija i tehnologija proizvodstva produkcii zhivotnovodstva / V.G. Koba [i dr.]. - M.: Kolos, 1999. – 528 s.

2. Roshhin, P.M. Mehanizacija v zhivotnovodstve / P.M. Roshhin. – M.: Agropromizdat, 1988. – 287 s.

3. Zoogigiena s osnovami proektirovanija zhivotnovodcheskih ob#ektov / V.A. Medvedskij [i dr.]. – Minsk: IVC Minfina, 2008. – 60 s.

4. Shilov, V.E. Ustrojstvo i tehničeskoe obslužhivanie dezinfekcionnogo oborudovanija / V.E. Shilov, A.F. Knjazev, E.A. Bulashov. - M.: Agropromizdat, 1991. – 351 s.

5. Pat. 142474 Rossijskaja Federacija, MPK A61L2/07. Ustanovka dlja obrabotki rabochih 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.

6. 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-praktičeskoj konferencii. - Rjazan': Izd-vo FGBOU VPO RGA TU, 2014. – Ч. 1. – С. 81-86.

7. Novikov, I.I. Termodinamika: uchebnoe posobie / I.I. Novikov. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 592 s.

8. Teoreticheskie osnovy teplotehniki. Teplotehničeskij jeksperiment / V.A. Grigor'eva, V. M. Zorina. – 2 izd., pererab. – M.: Jenergopromizdat, 1988. – 560 s.

9. Hoang, H.H. Issledovanie slozhnogo teploobmena v trubah Fil'da i ih ispol'zovanie v jenergoberegajushhej sheme steklovarennoj ustanovki: dis. kand. tehn. nauk / H.H. Hoang. - M., 2010. - 143 s.