

**АГРЕГАТ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОЙ МОЙКИ ДВИЖИТЕЛЕЙ  
ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

**Марков Александр Вячеславович**

магистрант

**Дьячкова Олеся Сергеевна**

магистрант

**Соловьёв Сергей Владимирович**

доктор сельскохозяйственных наук, доцент

[sergsol6800@yandex.ru](mailto:sergsol6800@yandex.ru)

**Абросимов Александр Геннадьевич**

кандидат технических наук, доцент

**Бахарев Алексей Александрович**

кандидат технических наук, доцент

**Дьячков Сергей Владимирович**

кандидат технических наук, доцент

[dsv13.06@mail.ru](mailto:dsv13.06@mail.ru)

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

**Аннотация.** В статье рассмотрены результаты теоретических исследований рабочего органа устройства для бесконтактной мойки двигателей транспортно-технологических машин. В результате проведенных теоретических исследований авторами разработаны теоретические предпосылки математического описания давления струи моющей жидкости на объект подвергающийся мойке.

**Ключевые слова:** транспортно-технологические машины, мойка, форсунка, двигатель, устройство для бесконтактной мойки двигателей.

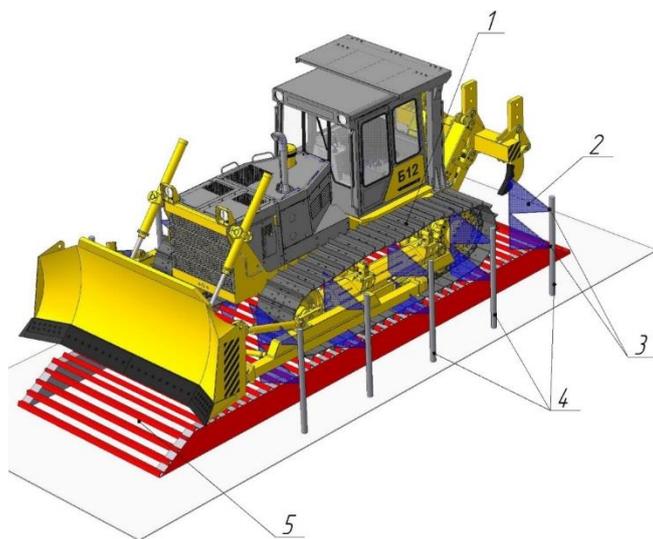
Гусеничные транспортно-технологические машины работают в различных погодных и почвенно-климатических условиях и на их движители и рабочие органы постоянно налипают почва, строительные материалы, снег, лед и др. Так как почва и стройматериалы содержат абразивные частицы, то в процессе работы техники происходит износ механизмов трансмиссии. Кроме того, в связи с тем, что гусеничную технику нельзя своим ходом перемещать по асфальтированной дороге, возникает необходимость в ее транспортировке с одного объекта на другой [1, 2]. Для этого используют специальный транспорт – тралы - грузовой автомобиль с прицепом в виде платформы, на низкой раме.

Перевозка гусеничных транспортно-технологических машин требует строгого выполнения определенных правил, одним из которых является очистка рабочих органов и движителей от загрязнений перед погрузкой на тралы.

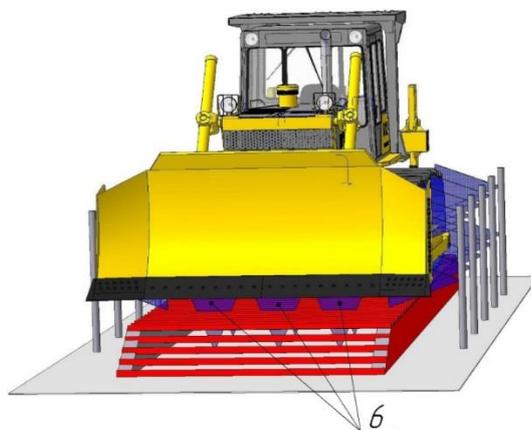
Для мойки движителей гусеничных транспортно-технологических машин в основном используют ручные автомойки высокого давления. При всех своих преимуществах, они недостаточно качественно производят мойку днища, траков и кареток с внутренней стороны [3]. Кроме того, для их качественной и высокопроизводительной работы необходимо подключение водопровода, монтаж емкости для сбора отработанных моющих частиц, подключение электричества, что не всегда возможно.

Поэтому актуальны исследования по разработке технического средства для наружной очистки движителей и днища гусеничных транспортно-технологических машин, применение которого повысит качество их очистки [4, 5].

Моечная установка высокого давления должна содержать емкость для моющего раствора, насос высокого давления, подводящие патрубки, сопло – щелевую форсунку высокого давления.



а)



б)

1 – объект мойки (колесо грузового автомобиля), 2 – факел потока моющей жидкости, 3 – форсунка щелевая, 4 – стойка для закрепления форсунок, 5 – эстакада, 6 – поток моющей жидкости для мойки днища.

*Рисунок 1* – Предлагаемая схема мойки движителей гусеничных тракторов и грузовых автомобилей в полевых условиях

На рисунке 1 представлена концептуальная модель мойки днища, рабочих органов и движителей гусеничных тракторов и грузовых автомобилей в полевых условиях. Моющая жидкость из емкости нагнетается насосом высокого давления по патрубкам (на рисунке не показаны) к щелевым форсункам 3. Мощные струи рабочего раствора направлены на загрязненные поверхности транспортного средства, расположенного на специальной эстакаде 5 вблизи с выездом на проезжую часть [1, 4, 5]. Медленно проезжая по эстакаде происходит очистка загрязненных деталей транспортно-технологической

машины. Моющие форсунки расположены не только на боковых поверхностях эстакады, но и в нижней ее части, что позволит осуществлять мойку днища, а также внутреннюю поверхность движителей гусеничных тракторов и автомобилей.

При теоретическом анализе способов мойки транспортно-технологических машин [5-8] для процесса наружной мойки целесообразно применять пульсирующее воздействие водо-воздушных струй моющей жидкости на частицы загрязнения, находящиеся на поверхности объекта.

Известно, что работа по удалению загрязнений с поверхности складывается из механической работы, совершаемой струей воды или другими механическими приспособлениями и химической работы по ослаблению адгезионных связей между частицами загрязнений и поверхностью очищаемых объектов [7]:

$$A = A_{\text{мех}} + A_{\text{хим}} \quad (1)$$

Для увеличения химической работы моющей жидкости в ее состав входят синтетические моющие средства, которые в большинстве случаев являются экологически опасными и дорогостоящими, поэтому в последнее время увеличивают производительность моющих установок, особенно за счет повышения усилия, создаваемого струей моющей жидкости. Широкое распространение в нашей стране и за рубежом находят моющие установки, создающие рабочее давление струи свыше 15 МПа, недостатком которых является их большая энергоемкость.

Общеизвестно, что при колебании разрушение материала происходит при нагрузках, значительно ниже статических [3, 6].

В соответствии с этим была поставлена задача по созданию конструкций моющей установки с пульсирующей струей моющей жидкости. Эффект пульсации может быть достигнут при наполнении водяной струи воздухом.

При рассмотрении разрушения частиц загрязнений на поверхности машин и их удалении, происходит изменение скоростей двух масс под действием взаимного импульса за определенный промежуток времени

$$F\Delta t = mV,$$

Отсюда

$$V = \frac{F\Delta t}{m}$$

где  $F$ -сила, действующая за промежуток времени импульса  $\Delta t$  на частицы загрязнений, Н;  $m$  - масса капель моющей жидкости за промежуток времени, кг;  $V$  - скорость капель моющей жидкости, м/с.

Условия прочности загрязнений при импульсе удара, выражаются зависимостью [4, 8]:

$$V = \frac{\sigma}{\sqrt{E\mu}} \quad (2)$$

где  $\sigma$  - предельное напряжение разрушения частиц загрязнения, Н/м<sup>2</sup>;  $E$  - модуль упругости частиц загрязнения, Н/м<sup>2</sup>;  $\mu$  - плотность частиц загрязнения, кг/м<sup>3</sup>. На основе теории гидродинамики силу, с которой струя воздействует на загрязненную поверхность, можно выразить формулой

$$F = \varphi\rho \frac{\pi d_H^2}{2} \sqrt{2gH} \quad (3)$$

где  $\varphi$  - коэффициент скорости, учитывающий форму струи и тип сопла;

$\rho$  - плотность моющей жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $d_H$  - диаметр выходного отверстия сопла, м;  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$ - напор струи, м.

С другой стороны, рассмотрев свободное колебание элементарной массы частиц загрязнения от действия силы импульса струи воды, насыщенной воздухом, тогда

$$F = \int_0^M j dM \quad (4)$$

где  $j$  – частиц загрязнения при колебании;  $dM$  – элементарная масса частиц загрязнения.

Подставляя полученные выше значения и преобразовав данное выражение, получаем конечное выражение

$$V = \frac{3 \cdot \varphi^7 p_1 \pi d_H^2 (\sqrt{2g\frac{P}{\gamma}})^7 \Delta t K_{\Gamma T}}{8 p_2 c^3 \left[ 1 + 10^4 \left( \frac{W_K}{W_B} \right)^2 \right]^3} \quad (5)$$

где  $3/8\varphi^7 = \varphi_1$  - скоростной коэффициент струи;

$p_1/p_2 = K$  – коэффициент соотношения плотности водо-воздушной струи к водяной струе;  $W_K$  – объемный расход воды;  $W_B$  – объемный расход воздуха;  $W_K / W_B = K_B$  – коэффициент степени насыщения воды воздухом;  $K_T$  – температурный коэффициент, зависящий от температуры моющей жидкости;  $C$  – коэффициент пропорциональности.

Исходя из уравнений (2,5) установлена аналитическая зависимость основных факторов, влияющих на разрушение частиц загрязнения, находящихся на обмываемой поверхности, от воздействия водо-воздушной струи моющей жидкости.

$$\varphi_1 \cdot K \frac{\pi d_H^2 (\sqrt{2g \frac{P}{\gamma}})^7 K_T T \Delta t}{c^3 [l + 10^4 K_B^2]^3} > \frac{\sigma}{\sqrt{E\mu}} \quad (6)$$

Постоянные значения коэффициента  $\varphi_1$ , определяющего форму струи, возможны при работе моечной установки в режимах: «веерообразном» формировании струи и «кинжальном». Исходя из данной зависимости, рациональные режимы работы водно-воздушной установки возможно получить за счет изменения рабочего давления, диаметра выходного отверстия сопла, степени насыщения воды воздухом и температуры моющей жидкости.

Конструктивные особенности деталей сельскохозяйственных машин, их различные геометрические формы и конфигурации поверхностей, требуют различных режимов работы моечной установки [8, 9].

Учитывая площадь обмываемой поверхности и площадь факела, образующая сечением выходного отверстия сопла при постоянном значении скорости потока струи, можно определить зависимость этих значений и эффективность воздействия потока моющей жидкости на загрязнение и ее удаление с поверхности.

В связи с этим взято отношение площади сечения выходного отверстия, образующего пятно факела и площадь загрязнения поверхности (площадь активного воздействия потока струи), выраженной зависимостью.

$S_{3l}$ - зона загрязненной поверхности активного действия струй

$$\frac{S_C}{S_3} = K \quad (7)$$

где  $S_C$  - площадь выходного отверстия сопла;  $S_3$  - площадь загрязненной поверхности активного воздействия потока струй;  $K$  - коэффициент пропорциональности.

С учетом угла, образующего между сечением двух поверхностей, радиусом кривизны и других параметров предлагается коэффициент, учитывающий их геометрическую форму.

$S_{3l}$  - зона активного воздействия струй моющей жидкости

Для плоских поверхностей, направленных друг к другу под углом, данный коэффициент ( $K_r$ ), будет равен

$$K_r = K(l - \cos\alpha) \quad (8)$$

Учитывая угол между точками сопряжения выпуклых поверхностей и их радиусами, возможно определить коэффициент геометрической формы поверхностей для данных поверхностей, тогда площадь (рисунок 2.3) загрязненной поверхности активного воздействия струи, принимая, что длина данного участка равна длине пятна факела, примет выражение [6, 8]:

$$S_3 = \left[ \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\alpha}{2} + R_2 \frac{\pi}{180} \cdot \frac{\alpha}{2} \right] d_{CP} \quad (9)$$

где  $d_{CP}$  диаметр пятна факела струи моющей жидкости. С другой стороны длина факела зависит от диаметра выходного отверстия сопла, схематически изображенных на рисунке 2.3.

Можно вывести зависимость

$$d_{CP} = d_H + 2 H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \quad (10)$$

Преобразовав выражение 3 и подставляя соответствующие значения, получим равенство

$$S_3 = (R_1 + R_2) A_{rc} \frac{\alpha}{2} \left[ d_H + 2 H \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \right] \quad (11)$$

где  $(R_1 + R_2) A_{rc} \frac{\alpha}{2}$  - длина дуги сечения сопряжения выпуклых поверхностей;

$A_{rc} \frac{\alpha}{2}$  - радианное измерение дуги.

На основании экспериментальных исследований Куликова А.А., Садовского А.П. и других оптимальное расстояние от выходного отверстия сопла до обмываемой загрязненной поверхности объекта примерно равно 100-200 диаметрам выходного отверстия сопла. На основании этого примем  $H = 100 d_H$ . Пятно образованного факела можно принять как площадь окружности. С учетом этого коэффициента геометрической формы загрязненной поверхности примет окончательное значение:

$$K_r = \frac{\pi \cdot d_H}{(R_1 + R_2 A_{rc} \frac{\alpha}{2} (1 + 200 t g \frac{\beta}{2}))} \quad (12)$$

Для другой формы поверхности, имеющей вогнутость, данный коэффициент примет выражение:

$$K_r = \frac{\pi \cdot d_H}{R + A_{rc} \frac{\alpha}{2} (1 + 200 t g \frac{\beta}{2})} \quad (13)$$

Сила удара на загрязнение зависит от скорости истечения струи жидкости из сопла. В связи с этим скорость истечения, как переменную величину, можно выразить:

$$V_I = \frac{100 d_H}{t_{ц}} = \varphi \sqrt{\frac{2qP}{\gamma}} \quad (14)$$

где  $t_{ц}$  – малый промежуток времени;  $\gamma$  - удельный вес моющей жидкости.

Скорость растекания по загрязненной поверхности в активной зоне воздействия струи моющей жидкости, имеет другие значения с учетом зависимости геометрической формы загрязненной поверхности объекта и примет выражение с учетом коэффициента геометрической формы поверхностей (2.8, 2.12, 2.13).

$$V_2 = V_I K_r = K_r \frac{100 d_H}{t_{ц}} \quad (15)$$

Следовательно, распределение энергии потока струи моющей жидкости в данной зоне загрязненной поверхности, влияющей на разрушение и смыв загрязнения, происходит и с учетом геометрических форм объекта [7, 8, 10].

$$N = \rho\pi \frac{d_H^2}{2} \left( Kr \frac{100d_H}{t_{ц}} \right)^2 \quad (16)$$

Гидродинамическое давление струи

Величина  $P_y$ , Н/м<sup>2</sup>– определится выражением:

$$P = \rho_l \left( Kr \frac{100d_H}{t_{ц}} \right)^2 \sin\beta \quad (17)$$

где  $\rho_l$  – средняя плотность жидкости на расстоянии  $l$  от форсунки

Средняя плотность жидкости на расстоянии  $l$  от форсунки определим через коэффициент аэрации  $k$ :

$$\rho_l = \frac{\rho_\phi}{k} \quad (18)$$

$\rho_\phi$  – плотность моющей жидкости на выходе из форсунки, кг/м<sup>3</sup> ( $\rho_\phi = 1000$  кг/м<sup>3</sup>)

$$k = \frac{S_{сеч}}{S_0} = \frac{B_0\delta + 2l\delta tg\frac{\alpha}{2}}{B_0\delta} = 1 + \frac{2l\delta tg\frac{\alpha}{2}}{B_0\delta} \quad (19)$$

Тогда гидродинамическое давление струи на объект примет вид:

$$P_y = \frac{\rho_\phi \vartheta^2 B_0 \delta}{B_0 \delta + 2l\delta tg\frac{\alpha}{2}} \sin\beta$$

Среднюю скорость потока в струе на расстоянии  $l$  можно приближенно считать равной начальной скорости потока  $\vartheta_0$ , м/с:

$$\vartheta = \vartheta_0 = \varphi \sqrt{2gH}$$

Концептуальная модель моечной установки высокого давления должна содержать емкость для моющего раствора, насос высокого давления, подводящие патрубки, сопло – форсунку высокого давления. При подаче жидкости насосом, создающим давление в форсунке, обеспечивается подача струи моющей жидкости последующим выбросом ее через сопло форсунки и воздействием на загрязненную поверхность. Воздействием струи создается колебание связанных между собой частиц загрязнений, их разрушение и смыв с поверхностей объекта мойки.

### Список литературы:

1. Дьячков, С.В. Совершенствование технологического процесса и технических средств для очистки дорожных ограждений от загрязнений / С.В. Дьячков, С.В. Соловьёв, А.А. Урюпин // Наука и образование – 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 209.
2. Горшенин, В.И. Машина для бесконтактной мойки дорожных ограждений / В.И. Горшенин, В.Ю. Ланцев, С.В. Дьячков, С.В. Соловьёв // Наука и образование– 2019. – Т. 2. – № 2. – С. 24.
3. Максименко, А. Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование" направления подготовки "Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы" / А. Н. Максименко. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. - 391 с.
4. Analysis of the uniformity of the distribution of herbicides in the intercostal zone with a bar with a deviating section / К.А. Manaenkov, V.V. Khatuntsev, A.S. Gordeev, A.A. Korotkov, V.I. Gorshenin // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, Russia. – 2020. – С. 32008
5. Результаты экспериментальных исследований устройства гидродинамической мойки колес грузовых автомобилей / А.А. Стукалов, С.В. Дьячков, С.В. Соловьёв, А.А. Бахарев, А.Г. Абросимов // Наука и образование. – 2020. – Т.2. - №3. – С. 190
6. Бросалин, В.Г. Исследование садовой гербицидной штанги для обработки приствольных полос / В.Г. Бросалин, А.И. Завражнов, К.А. Манаенков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 10. – С. 8-11
7. Теоретические предпосылки к исследованию устройства гидродинамической мойки элементов дорожных ограждений / С.В. Дьячков,

С.В. Соловьев, В.Ю. Ланцев, А.А. Бахарев, А.Г. Абросимов // Научная жизнь. – 2019. – Т.14. - №5. – С. 666-674

8. Теоретические предпосылки к исследованию устройства для нанесения антигравийных покрытий на кузовные элементы транспортно-технологических машин / А.А Кондрашин, С.В. Дьячков, С.В. Соловьев, А.А. Бахарев, А.Г. Абросимов // Наука и образование. – 2020. – Т.3. - №2. – С. 189

9. Консервация машин для разбрасывания пескосоляной смеси / В.И. Горшенин, В.Ю. Ланцев, С.В. Соловьёв, [ и др.] //Наука и Образование. – 2019. – Т. 2. – № 1. – С. 45.

10. Манаенков, К.А. Совершенствование обработки почвы в приствольных полосах интенсивных садов / К.А. Манаенков, М.С. Колдин, Ж.А. Арькова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2017. – № 3 (17). – С. 28-34.

**UDC 625.745.55**

## **THE UNIT FOR CONTACTLESS WASHING OF MOVERS OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES**

**Markov Alexander Viacheslavovich**

master'sstudent

**Dyachkova Olesya Sergeevna**

master'sstudent

**Solovyov Sergey Vladimirovich**

Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor

[sergsol6800@yandex.ru](mailto:sergsol6800@yandex.ru)

**Abrosimov Alexander Gennadievich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Bakharev Alexey Alexandrovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Dyachkov Sergey Vladimirovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of

[dsv13.06@mail.ru](mailto:dsv13.06@mail.ru)

Michurinsk State Agrarian University,

Michurinsk, Russia

**Annotation.** The article considers the results of theoretical studies of the working body of the device for contactless washing of propellers of transport and technological machines. As a result of the conducted theoretical studies, the authors developed the theoretical prerequisites for the mathematical description of the pressure of the jet of washing liquid on the object being washed.

**Key words:** transport and technological machines, washing machine, nozzle, mover, device for contactless washing of movers.