На правах рукописи

Кирилин Александр Васильевич

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА МОЙКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Специальность 05.20.03 - Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Шемякин Александр Владимирович

Официальные оппоненты: **Серпокрылов Николай Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»
Фадеев Иван Васильевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева», заведующий кафедрой машиноведения

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

Защита состоится «25» декабря 2019 г. в 10:00 на заседании диссертационного совета Д 220.057.03, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу: 390044, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации www.vak.minobrnauki.gov.ru

Автореферат разослан «___»_____19 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент И.А. Юхин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В процессе эксплуатации сельскохозяйственных машин на поверхности скапливаются различные загрязнения, под действием климатических факторов образующие на поверхностях плотные отложения, оказывающие резко негативное влияние на эффективность использования машин. В связи с этим мойка техники является одним из ключевых процессов, оказывающих влияние на эффективность её использования и повышение качества сельскохозяйственных работ.

В настоящее время малые и фермерские хозяйства заинтересованы в использовании эффективной и недорогой техники для мойки сельскохозяйственных машин от загрязнений. Среди таких моечных машин широкое применение нашли установки высокого давления.

Использование струй высокого давления позволяет качественно очищать поверхность, что достигается за счет применением различных конструкций насадок, позволяющих придать струе жидкости различную конфигурацию.

Не смотря на широкое применение и ряд достоинств данные установки имеют один существенный недостаток, это повышенный расход воды, что непосредственно влияет на повышение затрат моечного процесса, которые для товара производителя и без того велики. В связи с этим для экономии природных ресурсов и снижения затрат на мойку сельскохозяйственных машин в условиях малых и фермерских хозяйств необходимо уделить внимание поиску новых устройств позволяющих повысить эффективность водных струй без повышения давления.

Степень разработанности темы. Проблемами очистки и защиты сельскохозяйственных машин от внешних воздействий занимались ученые: В.К. Астанин, Н.В. Бышов, Ю.С. Козлов, Н.П. Колесников, М.Б. Латышенок, Е.В. Пухов, В.И. Савченко, А.П. Садовский, В.И. Семенов, Н.С. Серпокрылов, С. Спринг, Н.Ф. Тельнов, И.А. Успенский, А.И. Ушанев, И.В. Фадеев, А.В. Шемякин, И.А. Юхин и многие другие. Высоко оценивая полученные результаты, отражённые в работах вышеназванных авторов, необходимо отметить, что в них недостаточно полно рассматриваются процессы повышения энергонасыщенности водяной струи без повышения её давления в процессе мойки.

Диссертация выполнена в соответствии с планом НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 г.г. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве»

Цель исследований. Повышение эффективности процесса мойки сельскохозяйственных машин обоснованием параметров устройства для создания вращающейся моечной струи.

Объект исследования. Устройство мойки наружных поверхностей сельскохозяйственных машин.

Предмет исследования. Параметры устройства мойки наружных поверхностей сельскохозяйственных машин.

Научная новизна:

– теоретически обоснованные параметры устройства мойки наружных поверхностей сельскохозяйственных машин;

– результаты экспериментальных исследований мойки наружных поверхностей сельскохозяйственных машин с применением вращающейся струи.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретически рассмотрено движение капель вращающихся струй, их ударное воздействие на загрязнение и процесс разрушения загрязнений.

Представлено моечное устройство, позволяющее создать вращающуюся струю для мойки наружных поверхностей сельскохозяйственных машин. Новизна подтверждена патентом на полезную модель №183001 «Устройство для создания вращающейся гидравлической струи».

Методология и методы исследования. В теоретических исследованиях использовались законы гидродинамики, теплотехники, теоретической механики, физики. При экспериментальных исследованиях использовались общеизвестные методики, а так же разработанные на их основе частные методики. При этом использовались современные приборы и оборудование, а так же специально изготовленные установки. Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики с использованием современных математических и компьютерных программ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- теоретически обоснованные параметры устройства мойки с созданием вращающейся струи;

- результаты экспериментального уточнения параметров устройства мойки с созданием вращающейся струи.

Степень достоверности и апробации результатов исследования. Достоверность научных положений подтверждена достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также

применением современных методик, устройств и средств исследования и обработки результатов экспериментов.

Реализация результатов исследований

Результаты исследований и хозяйственных испытаний используются в хозяйстве ООО "РЯЖСКАЯ МТС" Ряжского района Рязанской области.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в разработке и формулировании цели работы, определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, установлении принципиальных методологических и методических положений, организации и проведении комплексных исследований, обобщении положений по повышению производительности и качества процесса мойки.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на научно-практических конференциях: в ФГБОУ ВО РГАТУ (г. Рязань, 12 декабря 2016г.); НГАУ (г. Новосибирск, 25 декабря 2017 г.); ФГБОУ ВО Юго – Западный Государственный университет (г. Казань 24 – 25 ноября 2016 г., 20 – 23 май 2017 г.)

Публикации результатов исследования. Основные положения диссертации опубликованы в 13 научных трудах, в том числе 1 в изданиях рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ, 1 патент РФ на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка используемой литературы (152 наименования) и 4 приложений. Работа изложена на 124 страницах машинописного текста, включающая 11 таблиц, 52 рисунка.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований. Отражены научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований» дан анализ загрязнений сельскохозяйственных машин, способов и средств, для их удаления. Определены задачи исследования:

1. Разработать конструкцию моечного устройства с вращающейся струей для мойки сельскохозяйственных машин.
2. Теоретически обосновать параметры устройства мойки с созданием вращающейся струи.
3. Экспериментально уточнить рациональные параметры устройства мойки с созданием вращающейся струи.

4. Определить экономический эффект применения разработанного моечного устройства.

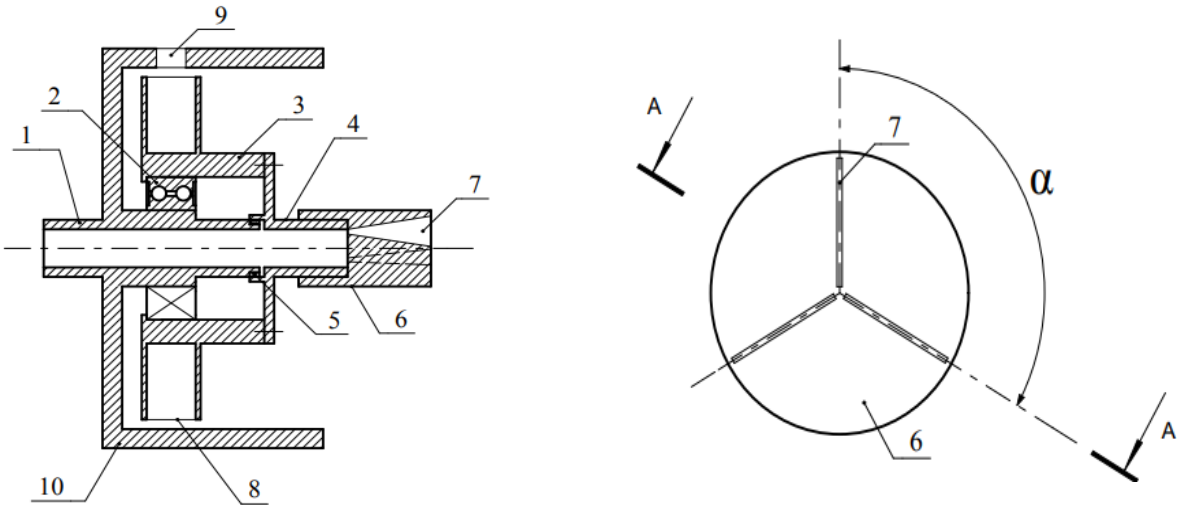
Во второй главе «Теоретическое исследование мойки сельскохозяйственных машин вращающимися струями» На основании проведенного анализа зарубежных и отечественных моечных установок и конструкций насадок была разработана конструктивно-технологическая схема устройства для создания вращающейся струи, теоретически исследованы и обоснованы его параметры, рассмотрено движение капель вращающихся струи, их ударное и разрушающее воздействие на загрязнение, выбраны направления проведения экспериментальных исследований.

Конструктивно-технологическая схема устройства для создания вращающейся гидравлической струи (рисунок 1.а) состоит из прямоточной неподвижной трубы 1 для соединения с источником подачи воды под давлением, на которую посредством поворотной опоры 2 устанавливают ведомое колесо с крыльчаткой 3. Ведомое колесо с крыльчаткой 3 соединено с корпусом цилиндрического патрубка 4, соединенного с неподвижной трубой 1 через манжетное уплотнение 5 и оканчивающегося цилиндрическим струе образующим насадком 6. В центральной части торцевой поверхности насадка выполнены сквозные отверстия 7, расположенные под углом 120º друг к другу. При этом каждое отверстие имеет конусообразную форму с конусностью 18º, ограниченную двумя плоскими параллельными продольными поверхностями (рисунок 1.б).

Неподвижная труба 1, соединенная с источником воды, подает воду под давлением через манжетное уплотнение 5 в цилиндрический патрубок 4.

Поток воздуха, подаваемого через канал подачи воздуха 9, поступает в корпус воздушной камеры 10 и приводит во вращение крыльчатку ведомого колеса 3, установленную внутри воздушной камеры 8. Вращение крыльчатки ведомого колеса 3 передается на соосно присоединенный к нему патрубок 4, оканчивающийся соосно присоединенным веерообразующим насадком 6.

При вращении корпуса 3, патрубка 4 и струеобразующего насадка 6 относительно общей продольной оси вращение передается потоку жидкости, а на выходе из насадка 6 формируется вращающаяся вокруг своей оси гидравлическая струя, подаваемая на очищаемую поверхность сельскохозяйственных машин.



а б

а – общий вид; б - насадок (вид с торца).

1 – неподвижная труба, 2 – поворотная опора, 3 – ведомое колесо с крыльчаткой, 4 – цилиндрический патрубок, 5 – манжетное уплотнение, 6 – веерообразующий гидравлический насадок, 7 – сквозные отверстия веерообразующего насадка, 8 – воздушная камера, 9 – канал подачи воздуха, 10 – корпус воздушной камеры.

Рисунок 1 – Конструктивно-технологическая схема устройства для создания вращающейся гидравлической струи

При этом веерообразующий насадок работает следующим образом. Вода под давлением попадает в сквозные отверстия 7 веерообразующего насадка 6, где между плоскими параллельными поверхностями формируется плоская струя. В канале сквозного отверстия 7 происходит формирование веерообразной плоской струи. Плоская струя формируется на всем участке отверстия 7. При придании вращения веерообразующему насадку 6 в сквозном отверстии 7 на выходе из насадка 6 формируется вращающаяся вокруг своей оси гидравлическая струя. Угол β распыления составляет 18^0. Три сквозных отверстия 7 расположены под углом φ 120^0 друг к другу.

Рассмотрим движение капли, вылетевшей из сопла рисунок 2. На каплю действует сила тяжести, сила инерции, центробежная и сила Кориолиса.

$$m_к \bar{a} = \bar{G} + \bar{F}_{кор} + \bar{F}_{цб} \qquad (1)$$

где $m_к$ – масса капли, кг;

G – сила тяжести, Н;

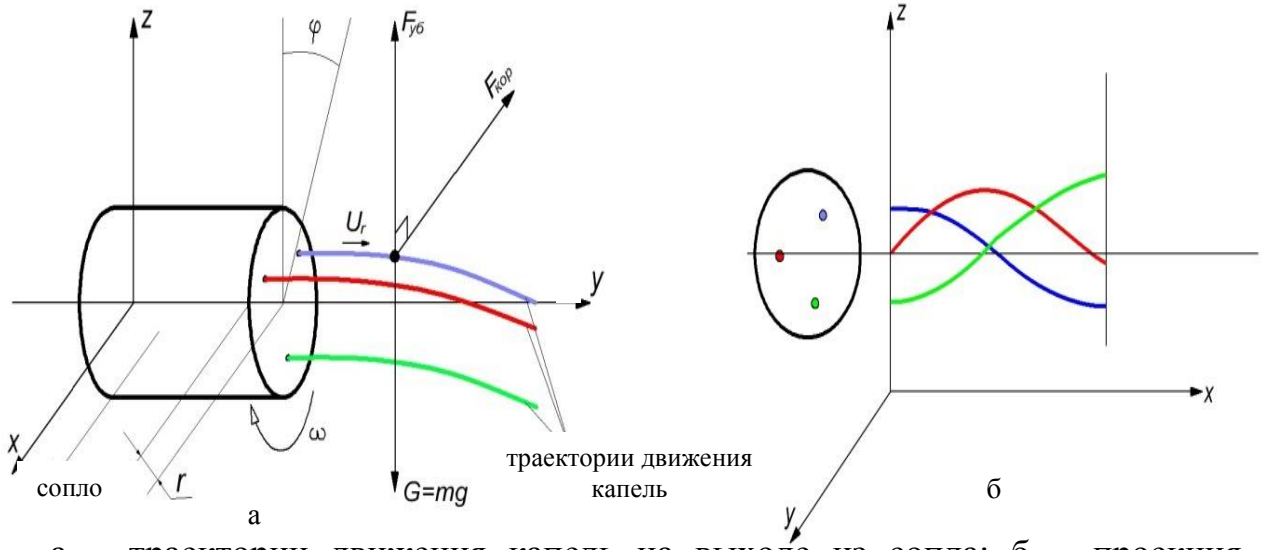
$F_{кор}$ – сила Кориолиса, Н;

$F_{уб}$ – центробежная сила, Н.

Центробежная сила будет действовать в плоскости *z 0 y*:

$$F_{уб}^{x} = m_к \omega^2 R \cos\varphi$$

$$F_{уб}^{y} = m_к \omega^2 R \sin\varphi \qquad (2)$$



а – траектории движения капель на выходе из сопла; б – проекция траекторий движения капель

Рисунок 2 – Схема траектории движения капель при вращении сопла

Направление центробежной силы и силы Кориолиса будет меняться при вращении насадка, запишем выражение для проецирования ускорения Кориолиса на оси координат:

$$F_{кор} = m_к 2(\overline{\omega} * \overline{v}_r) \qquad (3)$$

$$2(\overline{\omega} * \overline{v}_r) = 2\begin{vmatrix} \bar{i} & \bar{j} & \bar{k} \\ \omega\cos\varphi & \omega\sin\varphi & 0 \\ \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{vmatrix} \qquad (4)$$

Сократив в уравнении значение m, получим уравнение движения капли.

$$\begin{cases} \ddot{x} = -2\dot{z}\omega\sin\varphi - \omega^2 R\cos\varphi \\ \ddot{y} = 2\dot{z}\omega\cos\varphi \\ \ddot{z} = -2(\dot{y}\omega\cos\varphi - \dot{x}\omega\sin\varphi) - \omega^2 R\sin\varphi \end{cases} \qquad (5)$$

При падении капли на загрязненную поверхность происходит её удар о частицу загрязнения, в результате чего капля теряет форму и происходит разрушение и смещение частицы загрязнения рисунок 3.

Таким образом, потеря кинетической энергии частицы капли и частицы загрязнения при ударе можно записать в следующем виде:

$$T_0 = m_к v_1^2 + m_{чз} u_1^2 \qquad (6)$$

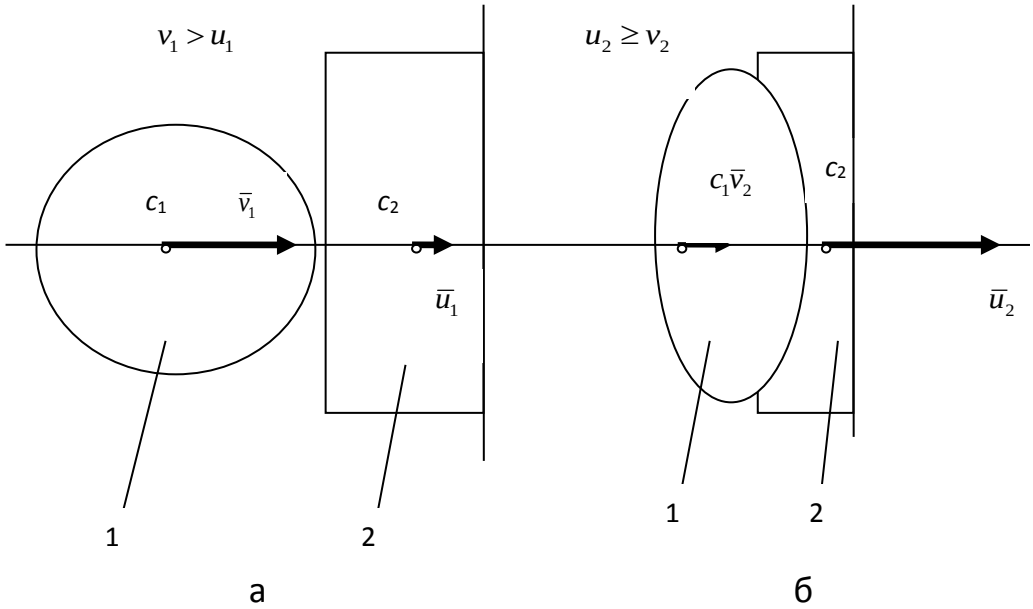
где T_0 – начальная кинетическая энергия системы (капля + частица загрязнения);

$m_к$ – масса капли, кг;

$m_{чз}$ – масса частиц загрязнения, кг;

v_1 – скорость капли, м/с;

u_1 – начальная скорость частицы загрязнения (u_1=0).



1 – капля, 2 – загрязнение.

Рисунок 3 – Обозначение скорости центров масс капли и частицы загрязнения в начале (а) и в конце удара (б)

Конечная кинетическая энергия будет

$$T = m_к v_2^2 + m_{чз} u_2^2 \qquad (7)$$

где T – конечная кинетическая энергия системы (капля + частица загрязнения);

v_2 – скорость капли после соударения, м/с;

u_2 –скорость частицы загрязнения после удара ($v_2 \approx u_2$).

Потеря кинетической энергии при ударе капли запишем в виде

$$T_0 - T = m_к (v_1^2 - v_2^2) - m_{чз} (u_1^2 - u_2^2) \qquad (8)$$

В этом уравнении два неизвестных v_2 и u_2. Следовательно, что бы определить эти неизвестные, надо найти второе уравнение, которое получим, если задать дополнительный коэффициент восстановления k. Так как после удара частица загрязнения получает перевес в скорости над каплей ($v_2 \leq u_2$), то коэффициент восстановления при прямом ударе двух тел будет определяться как частное от деления модулей относительных скоростей тел в конце и в начале удара, т.е.

$$k = \frac{|v_2 - u_2|}{|v_1 - u_1|} = -\frac{v_2 - u_2}{v_1 - u_1} \tag{9}$$

где $v_1 > u_1$.

Отсюда находим

$$u_2 - v_2 = k(v_1 - u_1) \tag{10}$$

Решая систему двух уравнений (8) и (10), получаем

$$\begin{cases} v_2 = v_1 - (1+k)\dfrac{m_к}{m_к + m_{чз}}(v_1 - u_1) \\ u_2 = u_1 + (1+k)\dfrac{m_к}{m_к + m_{чз}}(v_1 - u_1) \end{cases} \tag{11}$$

Из равенства (10) следует, что

$$k = \frac{u_2 - v_2}{v_1 - u_1} \tag{12}$$

при этом, очевидно, имеет место равенство

$$\frac{1-k}{1+k} = \frac{(v_1 - u_1) - (u_{2x} - v_2)}{(v_1 - u_1) + (u_2 - v_2)} \tag{13}$$

из которого находим

$$(v_1 + v_2) - (u_1 + u_2) = \frac{1-k}{1+k}\left[(v_1 - v_2) - (u_1 - u_2)\right] \tag{14}$$

Из уравнения (8) видно, что

$$m_к(v_1 - v_2) = -m_{чз}(u_1 - u_2) \tag{15}$$

Подставляя это значение в выражение (8), получаем

$$T_0 - T = m_к(v_1 - u_1)\left[(v_1 + u_1) - (v_2 + u_2)\right] \tag{16}$$

Далее, принимая во внимание равенство (15), мы формулу (16) можем представить в виде

$$T_0 - T = \frac{1-k}{1+k}\left[m_к(v_1 - v_2)^2 + m_{чз}(u_1 - u_2)^2\right] \tag{17}$$

где разности $(v_1 - v_2)$ и $(u_1 - u_2)$ показывают, насколько уменьшилась при ударе скорость каждого из соударяющихся тел, а поэтому их называют потерянными при ударе скоростями.

Таким образом, из равенства (17) следует что, кинетическая энергия, потерянная системой при прямом центральном и не вполне упругом ударе двух тел, равна $\frac{1-k}{1+k}$ той доле той кинетической энергии, которую имела бы система, если бы ее тела двигались с потерянными скоростями.

Равенству (17) можно придать несколько другой вид. В самом деле, из формулы (11) имеем

$$(1+k)^2 \frac{m_{чз}^2}{(m_к + m_{чз})^2}(v_1 - u_1)^2 = (v_2 - v_1)^2 \qquad (18)$$

или

$$(1+k)^2 \frac{m_к^2}{(m_к + m_{чз})^2}(v_1 - u_1)^2 = (u_2 - u_1)^2 \qquad (19)$$

Отсюда найдем

$$\frac{m_к (v_2 - v_1)^2}{2} + \frac{m_{чз}(u_2 - u_1)^2}{2} = \frac{(1+k)^2}{2}\frac{m_к m_{чз}}{m_к + m_{чз}}(v_1 - u_1)^2 \qquad (20)$$

или

$$\frac{1+k}{2}\frac{m_к m_{чз}}{m_к + m_{чз}}(v_1 - u_1)^2 = \frac{1}{1+k}\left[\frac{m_к (v_2 - v_1)^2}{2} + \frac{m_{чз}(u_2 - u_1)^2}{2}\right] \qquad (21)$$

и, следовательно, будем иметь

$$\frac{1-k}{1+k}\left[m_к (v_2 - v_1)^2 + m_{чз}(u_2 - u_1)^2\right] = \frac{1-k^2}{2}\frac{m_к m_{чз}}{m_к + m_{чз}}(v_1 - u_1)^2 \qquad (22)$$

Отсюда, обращаясь к формуле (17), получаем

$$T_0 - T = \frac{m_к m_{чз}}{2(m_к + m_{чз})}(1-k^2)(v_1 - u_1)^2 \qquad (23)$$

В частном случае, когда частица загрязнения до удара неподвижна ($u_1 = 0$), будем иметь

$$\begin{cases} T_0 - T = \dfrac{m_к m_{чз}}{2(m_к + m_{чз})}(1-k^2)v_1^2 \\ T_0 = m_к v_1^2 \\ T = \dfrac{m_к + k^2 m_{чз}}{m_к + m_{чз}} T_0 \end{cases} \qquad (24)$$

Из равенства (17) следует, что наибольшая потеря кинетической энергии будет при абсолютно неупругом ударе (k = 0), когда тела в конце удара не восстанавливаются.

В этом случае $v_2 = u_2 = u$, поэтому равенство (17), выражающее теорему Карно, примет следующий вид:

$$T_0 - T = m_к (v_1 - u)^2 + m_{чз}(u_1 - u)^2 \qquad (25)$$

т.е. кинетическая энергия, потерянная системой при прямом центральном и абсолютно неупругом ударе, равна той кинетической энергии, которую имела бы система, если бы ее тела двигались с потерянными скоростями.

Полагая k = 0, из равенства (23) получим выражение для потерянной кинетической энергии при абсолютно неупругом ударе в ином виде, а именно:

$$T_0 - T = \frac{m_к m_{чз}}{2(m_к + m_{чз})}(v_1 - u_1)^2 \qquad (26)$$

Рассмотрим случай абсолютно неупругого удара, когда одно из соударяющихся тел до удара было неподвижным.

Пусть этим телом будет второе тело, тогда его скорость до удара $u_1 = 0$.

В этом случае кинетическая энергия системы в начале и в конце удара будет соответственно равна

$$T_0 = m_к v_1^2 \tag{27}$$

$$T = (m_к + m_{чз}) v_2^2 \tag{28}$$

так как при абсолютно неупругом ударе $v_2 = u_2$. При этом будет иметь место формула (27, 28), т.е.

$$v_1 = \frac{m_к + m_{чз}}{m_к} v_2 \tag{29}$$

Подставляя это значение v_1 в формуле (26) и учитывая вторую из формул (27, 28), получаем

$$T = \frac{1}{1 + \frac{m_{чз}}{m_к}} T_0 \tag{30}$$

Рассмотрим действие всесторонней деформации, когда скорость деформации не равна нулю, что вызовет увеличение прочности. Рассмотрим это утверждение на количественном языке.

Объемное реологическое уравнение для однородного материала, запишем

$$-\sigma = k_y e_v + \xi_s \dot{e}_v \tag{31}$$

где ξ_s – коэффициент объемной вязкости твердого тела.

e_v - объемная деформация загрязнения, м^3,

$\dot{e}_v$ - скорость объемной деформации м^3/с,

k_y - коэффициент упругости материала загрязнений, Н/м^3

Эта объемная вязкость задерживает появление упругой деформации и (или) вызывает вязкое затухание, но течение при этом отсутствует. Это и есть вязкость твердого тела.

Работа деформации на единицу объема, запишем

$$A = \int_0^{e_v} k_y e_v de_v + \int_0^t \xi_s \dot{e}_v^2 dt \tag{32}$$

Первая часть в правой стороне, являясь упругой потенциальной энергией, обратима, тогда как вторая часть переходит в тепло и диссипируется. Поэтому разрушение имеет место, когда первая часть достигает и превышает предельную упругую потенциальную энергию материала при равномерном

всестороннем напряженном состоянии, измеряемую E_v Условие разрушения, следовательно, будет

$$A - \int_0^t \xi_s \dot{e}_v^2 dt = \int_0^{c_v} k e_v de_v \geq \Pi \tag{33}$$

Если k постоянно, интеграл в правой части может быть вычислен, и он равен $k_y = \frac{e_v^2}{2}$ Поэтому объемное расширение, при котором происходит разрушение, равно

$$e_{vr} = \pm\sqrt{\frac{2\Pi}{k}} \tag{34}$$

Тогда уравнение (31) дает величину растягивающего напряжения, при котором имеет место разрушение, следующее значение:

$$-\sigma = k_y e_{vr} + \xi_s \dot{e}_v = \sqrt{2\Pi k} + \xi_s \dot{e}_v \tag{35}$$

Пусть разрушающее напряжение в статическом состоянии, при котором $\dot{e}_v = 0$, есть σ_{rs}

$$\sigma_{rs} = \pm\sqrt{2\Pi k}_y \tag{36}$$

тогда

$$\sigma = \sigma_{rs} + \xi_s \dot{e}_v \tag{37}$$

Следовательно: напряжение, при котором материал разрушается при всестороннем равномерном растяжении, возрастает при увеличении скорости расширения. Если ξ_s постоянна, возрастание линейно; в противном случае оно следует некоторому упругому закону, определяемому зависимостью $\xi_s = f(\dot{e}_v)$.

Следует отметить, что этот результат не зависит от постоянства k_y. Из уравнения (32) непосредственно следует, что работа деформации, A, приводящая к разрушению, для любой скорости расширения $\dot{e}_v$ всегда больше, чем работа деформации A_{rs}, затрачиваемая при бесконечно медленном расширении (для которого $\dot{e}_v = 0$)

Следовательно, в то время как при отсутствии вязкого сопротивления для объемного расширения материала существует определенное напряжение, при котором происходит разрушение, в случае, когда вязкость существует, расширение e_{vr} является фиксированным, а напряжение σ - нет.

На основании проведенных теоретических исследований получено выражения связывающее напряжение разрушающее загрязнения и потенциальную энергию (работу) по разрушению загрязнения. В результате расчета получена потенциальная энергия разрушения средне связанных

загрязнений которая составляет согласно формуле (37) около 3 КДж на площади 1м^2.

Также установлены зависимости для расчета энергии разрушения частиц загрязнений, что позволило рассчитать начальную кинетическую энергию капель жидкости, которую можно определить по формуле (30), при среднем размере капли около 0,2 мм ее энергия составляет около 7,95 на 10^{-5} Дж.

Дальнейшее исследование кинетической энергии струи распадающейся на капли позволило установить, что начальная скорость струи согласно формуле (27) должна составлять не менее 21 м/с. Для случая вращающихся гидравлических струй.

В третьей главе «Программа и методики экспериментальных исследований» приведены методики лабораторных исследований. Представлена лабораторная установка для мойки сельскохозяйственных машин. Рассмотрены результаты исследований, на основании которых выявлены рациональные параметры устройства мойки с созданием вращающейся гидравлической струи. Обработка полученных данных производилась согласно приведенной методике статистической программой Statistica 8.0 при помощи персонального компьютера.

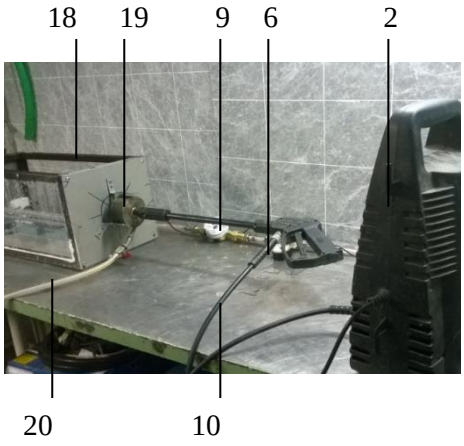
В четвёртой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты экспериментальных исследований, предусмотренных программой, определены рациональные параметры устройства для создания вращающейся гидравлической струи.

Экспериментальные исследования проводились на специально разработанном стенде для испытаний установок для очистки, общий вид и принципиальная схема которого представлен на рисунке 4.

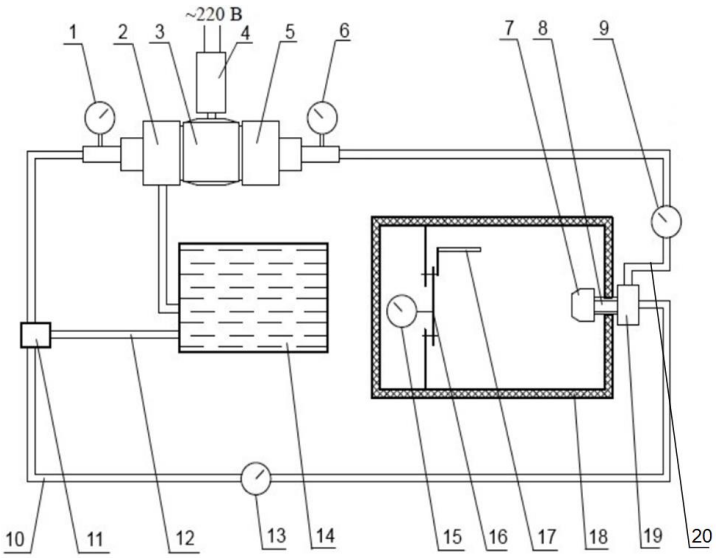
Обработка полученных данных производилась согласно приведенной методике статистической программой Statistica 8.0 при помощи персонального компьютера.

По результатам эксперимента получено уравнение множественной регрессии для зависимости степени очистки *Y* от параметров экспериментальной установки для очистки с помощью вращающейся гидравлической струи:

$$v5=b0+b1*v1+b2*v2+b3*v3*v3+b4*v2*v4+b5*v1*v2+b6*v1*v3+$$
$$+b7*v1*v4+b8*v2*v3+b9*v2*v4+b10*v3*v4+b11*v1*v1+b12*v2*v2+$$
$$+b13*v3*v3+b14*v4*v4 \qquad (38)$$



а



б

а – общий вид; б – принципиальная схема

1 – манометр водяной, 2 – насос водяной, 3 – электродвигатель, 4 – электрощит, 5 – насос воздушный 6 – манометр воздушный, 7 – веерообразующее сопло, 8 – держатель, 9 – расходомер воздушный, 10 – напорная магистраль, 11 – предохранительный клапан, 12 – перепускная магистраль, 13 – расходомер воды, 14 – емкость для воды, 15 – динамометр, 16 – образец, 17 – линейка, 18 – моечная камера, 19 – воздушная камера, 20 – воздушная магистраль.

Рисунок 4 – Экспериментальная установка

На основании уравнения регрессии (39) построены трёхмерный график зависимости степени очистки поверхности образца (Var5) от количества веерных струй (Var1) и диаметра выходного отверстия (Var2) изображён на рисунке 5.

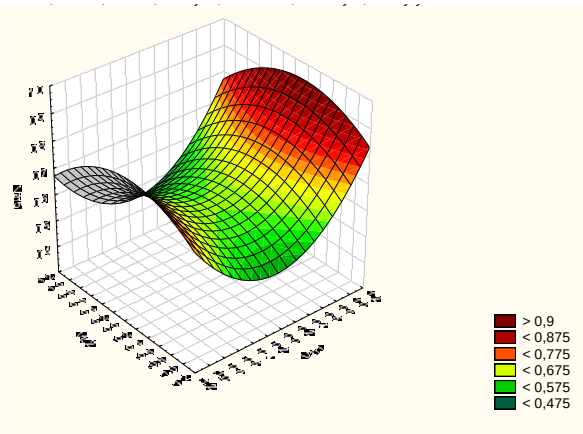


Рисунок 5 - Трёхмерный график зависимости степени очистки поверхности образца от количества веерных струй, шт. и диаметра выходного отверстия, мм.

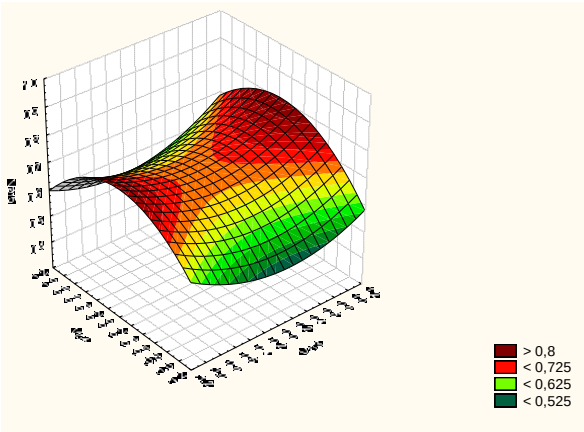


Рисунок 6 - Трёхмерный график зависимости степени очистки поверхности образца, от давления жидкости в напорной магистрали и скорости вращения сопла об/мин.

Var5=0,6263+0,039*x-0,0287*y+0,1836*x*x+0,0024*x*y-0,0946*y*y (39)

На основании уравнения регрессии (40) построен трёхмерный и контурный график зависимости степени очистки поверхности образца (Var5) от давления жидкости в напорной магистрали (Var3) и скорость вращения сопла (Var4) изображён на рисунке 6.

Var 5=0,6937+0,0093*x+0,0153*y0,0678*x*x+0,0222*x*y-0,1192*y*y (40)

Анализ математических моделей и графиков показывает, что рациональными параметрами варьируемых факторов будут следующие значения: количество веерных струй 3; диаметр выходного отверстия 0,97 мм, давление жидкости в напорной магистрали 7,8 МПа; скорость вращения сопла 132 об/мин.

В ходе экспериментальных исследований уточнялось рациональное расстояния от сопла, до омываемой поверхности позволяющего достичь необходимых качеств очистки поверхности рисунок 7.

На основании проведённых экспериментальных исследований и определении оптимальных значений процесса очистки была создан промышленный образец установки для мойки с использованием вращающейся гидравлической струи рисунок 8.

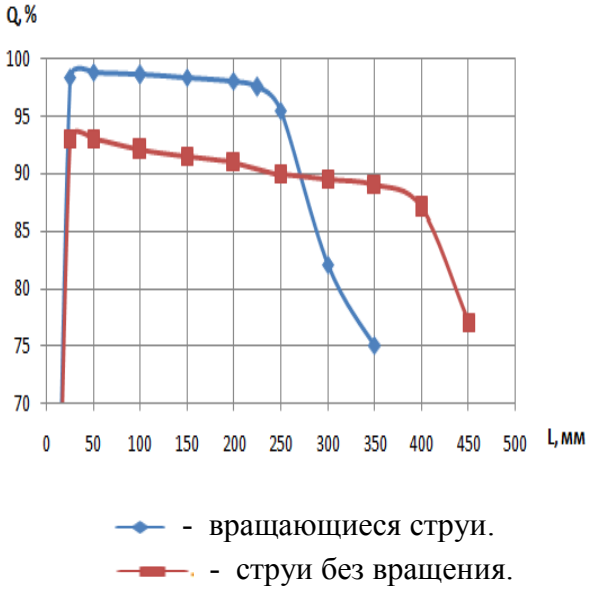
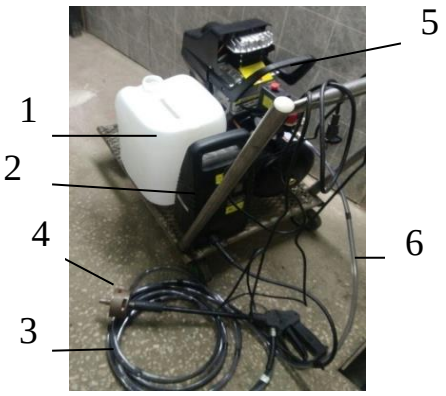


Рисунок 7 – График зависимости степени очистки Q, от расстояния L.



1 - емкость для воды, 2 – насос высокого давления, 3 – напорный шланг, 4 – экспериментальное сопло, 5 – компрессор, 6 – воздушный шланг.
Рисунок 8 – Общий вид установки.

Анализ графической зависимости показал, что необходимые показатели очистки при рациональной площади контакта струи достигаются на расстоянии 220 мм.

В ходе натурных испытаний было проведено сравнение наиболее часто встречающихся способов средств для удаления загрязнений с поверхностей

сельскохозяйственных машин и установлены технико-эксплуатационные показатели работы установок, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Эксплуатационные показатели мойки сельскохозяйственных машин

№ п/п	Наименование способа очистки	Марка установки для очистки	Марка с/х машины	Оценочные показатели				
				Расход электроэнергии, кВт·ч	Расход рабочей жидкости.	Рабочее давление МПа	Время очистки, мин.	Остаточное загрязнение, г/м^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Мойка высокого давления	Huter W105-GS	СЗУ-3.6 КамАЗ RopaV8-3	0,6 1 1,7	128 229 376	6,8	25,4 49,1 83	0,85 0,88 0,9
2.	Мойка высокого давления	Karcher K7	СЗУ-3.6 КамАЗ RopaV8-3	0,9 1,6 2,7	158 287 486	14,3	20,3 41,5 70,4	0,74 0,77 0,79
3.	Мойка вращающейся струёй	Эксперимен-тальная установка	СЗУ-3.6 КамАЗ RopaV8-3	0,8 1,4 2,3	116 205 349	7,8	18,5 37,2 63,5	0,71 0,73 0,76

Сравнительный анализ технико-эксплуатационных показателей способов и средств удаления загрязнений с поверхности сельскохозяйственных машин, что очистка вращающейся струёй является наиболее экономичным способом мойки и обеспечивает высокую производительность и безопасные условия работы обслуживающего персонала.

Применение экспериментальной установки для мойки свеклоуборочного комбайна RopaV8 позволяет существенно увеличить эффект очистки от загрязнений. Так для обеспечения допустимого качества очистки (остаточное загрязнение 1 г/м^2), трудоёмкость мойки для экспериментальной установки составляет 1,03 чел*ч расход электроэнергии 2,3 кВт*ч; расход воды 0,4 м^3.

Применение разработанного способа мойки позволило сократить общее время моечной операции: для свеклоуборочного комбайна RopaV8-3– 63,5мин, автомобиля КамАЗ– 37,2 мин, сеялки СЗУ-3.6– 18,4 мин.

В пятой главе «Расчет экономического эффекта» приведен расчет экономического эффекта от повышения качественных показателей работы предлагаемой машины для мойки поверхностей сельскохозяйственных машин

Для определения экономического эффекта путем сравнения существующей моечной машины и предлагаемой, были использованы

рекомендуемые методы экономической оценки ГОСТ 53056-08. В качестве исходных данных для расчета использовались нормативные документы и литературные источники.

Результаты расчетов экономического эффекта предлагаемых решений показывают, что эффект достигается за счет снижения эксплуатационных затрат и повышения производительности моечного процесса.

Фактический годовой экономический эффект от внедрения результатов исследования составила 11744 руб. Экономия на одну единицу сельскохозяйственной машины на примере свеклоуборочного комбайна RopaV8-3 составила 5 руб. 20 коп.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основании исследования научно-производственного опыта очистки сельскохозяйственных машин от загрязнений установлено, что для моечных установок наиболее эффективными для улучшения качества мойки являются гидродинамические насадки, создающие эффект гидравлического удара и обеспечивающие повышение механического воздействия водяной струи.

2. Для совершенствования моечного процесса разработана конструкция устройства с вращающимися гидравлическими струями состоящие из прямоточной неподвижной трубы, на которое надето ведомое колесо с крыльчаткой, которая обеспечивает вращения цилиндрического патрубка с соплами и образование вращающейся струи. Её применение обеспечивает комплексное гидродинамическое воздействия на частицы загрязнения с многократным повторением, позволяющее разрушить загрязнение и отвести его из зоны мойки.

3. В ходе теоретических исследований установлено, что потенциальная энергия разрушения загрязнения вращающейся струей должна быть не менее 3 КДж на м^2, а скорость капли жидкости на выходе из сопла должна составлять не мение 21 м/с.

4. Установлено, что рациональными параметрами устройства для создания вращающейся струи являются: количество струй - 3; диаметр отверстий - 0,97 мм; давление моющей жидкости в сопле - 7,8 МПа; скорость вращения сопла - 132 об/мин.

Максимальная эффективность мойки достигается на расстоянии 220 мм от сопла до омываемой поверхности и скорости вращения сопла 132 об/мин.

5. Фактический годовой экономический эффект от внедрения результатов исследования составила 11744 руб на одну единицу сельскохозяйственной машины на примере свеклоуборочного комбайна RopaV8-3.

Рекомендации производству

Обоснование параметров моечных машин способствует повышению производительности, снижению трудоемкости моечного процесса и экономии ресурсов. Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований могут быть использованы предприятиями, занимающимися созданием моечных установок.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшей перспективе научных исследований для малых и фермерских хозяйств необходимо продолжить работу в направлении совершенствовании конструкций моечных машин, с целью повышения их производительности, экономии и качества удаления загрязнений.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Статья в рецензируемых журналах из списка ВАК РФ:

1. Устройство для очистки сельскохозяйственных машин с использованием энергии вращающейся жидкостной струи / А.В. Шемякин, В.В. Терентьев, Н.М. Морозова, С.А. Кожин, А.В. Кирилин // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2016. № 3 (31). С. 77-80.

Патент

2. Устройство для создания вращающейся гидравлической струи: пат. 183001 Российская Федерация, МПК B05B 3/02 (2006.01), B05B 3/12 (2006.01)./ Шемякин А.В., Терентьев В.В., Латышенок М.Б., Кожин С.А., Кирилин А.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО РГАТУ. - № 2018119651 заявл. 28.05.18; опубл. 07.09.18, Бюл. № 25. – 9 с. : ил.

Публикации в сборниках и других научных изданиях

3. Загрязнения сельскохозяйственных машин и устройства для их очистки / А.В. Шемякин, А.В. Кирилин, С.А. Кожин, Е.Г. Кузин // В сборнике: Технические науки - от теории к практике сборник научных публикаций. Сер. "Научный журнал "Globus"" 2016. С. 40-46.

4. Кирилин А.В. Перспективный способ мойки сельскохозяйственных машин / А.В. Кирилин // Новая наука: От идеи к результату 2016. № 11-2. С. 102-105.

5. Кирилин А.В. Экспериментальная установка для мойки сельскохозяйственных машин / А.В. Кирилин, С.А. Кожин. Морозова Н.М.// В сборнике: Инновационное развитие современного комплекса России. Материалы национальной научно - практической конференции. Министерство

сельского хозяйства Российской Федерации; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева". 2016. С. 75-78.

6. Кирилин А.В. Мойка сельскохозяйственных машин перед подготовкой к хранению / А.В. Кирилин.// В сборнике: Инновационные технологии в сельском хозяйстве, материалы III международной научной конференции. 2017. С. 44-48.

7. Кирилин А.В. Мойка сельскохозяйственных машин с использованием жидкостных струй высокого давления / А.В. Кирилин. // Молодой ученый. 2017. № 11-3 (145). С. 20-22.

8. Кирилин А.В. Стенд для сравнительных испытаний моечных машин / А.В. Кирилин, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин //В сборнике: Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий Сборник II Всероссийской (национальной) научной конференции. Новосибирский государственный аграрный университет. 2017. С. 441-444.

9. Кирилин А.В. Устройство для очистки и мойки автомобилей водовоздушной струёй /А.В. Кирилин// В сборнике: Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2016) сборник статей VIII Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Е.В. Агеев. 2016. С. 175-178.

10. Kirilin A.V. The theoretical aspects of removing contamination of agricultural machinery /A.V. Kirilin // Modern Science. 2017. № 4-1. С. 38-41.

11. Кирилин А.В. Анализ технологического процесса подготовки техники к хранению / А.В. Кирилин, В.В. Терентьев, А.В. Шемякин // В сборнике: Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России. Материалы Национальной научно-практической конференции. 2019. С. 192-197.

Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ № 1436
подписано в печать 23.10.2019 г.
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1
Отпечатано в издательстве учебной литературы
и учебно-методических пособий
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1