

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШЛАНГОВЫХ МОЕЧНЫХ МАШИН

Хилько И.И., Белорусский государственный аграрный технический университет,
Гарост М.М., Белорусский национальный технический университет,
Разаренов Л.В., ХНАДУ

Аннотация. Дана оценка энергоэффективности современных высоконапорных шланговых моечных машин. Предложены технические решения по рабочему органу и сменным адаптерам, повышающим технический уровень и расширяющим технологические возможности машин. Благодаря использованию принципа «вращающихся» струй и явления гидравлической кавитации, предложена новая конструкция брандспойта с набором адаптеров, которые расширяют технологические возможности шланговых моечных машин.

Ключевые слова: моечная машина, адаптер, насадка, колебания.

Введение

Мойка является важным технологическим процессом в системе технической эксплуатации машин и оборудования, оказывающим большое влияние на качество, культуру и безопасность их использования, обслуживания и ремонта. Как ни один другой технологический процесс, она является наиболее распространенной и с очень обширной сферой применения. Однако до сих пор она остается далеко не совершенной и требующей на свою реализацию больших расходов воды, энергии, труда, в том числе и на очистку сточных вод.

Анализ публикаций

В Республике Беларусь до недавнего времени ОАО «Оршаагропромаш» и РУП «Волковысский завод литейного оборудования» выпускали машины моечные ОМ–5361 и ММ–140, ММ–2П, ММ–6П соответственно. Сейчас их производство, не выдержав конкурентную борьбу, свернуто, а стратегически важный сегмент рынка моечного оборудования отдан иностранным производителям [1]. Более успешной стала фирма «Limens» (г. Минск), наладившая производство моечного оборудования на базе комплектов ведущих фирм, представив на рынке достаточно широкий спектр моечных машин. В таких условиях важно оценить технический уровень закупаемого оборудования и наметить пути повышения конкурентоспособности отечественного.

Цель и постановка задачи

КПД моечной установки может быть представлен в виде соотношения полезной и затраченной мощности

$$\eta_{\text{м.уст}} = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{потр}}}, \quad (1)$$

где $N_{\text{пол}}$ – полезная мощность, которая определяется как произведение силы струи на ее скорость, т.е. факторы эффективности струи

$$N_{\text{пол}} = 10^{-3} F \cdot v, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где F – сила струи, Н; v – скорость струи, м/с; $N_{\text{потр}}$ – потребляемая мощность насоса, которая определяется произведением крутящего момента на частоту вращения электродвигателя [1], приводящего насос во вращение

$$N_{\text{потр}} = \frac{N_3}{\eta} = \frac{M \cdot n}{9550}, \text{ кВт}, \quad (3)$$

где η – КПД насоса (общий или полный), а значения крутящего момента M [Н.м] и частоты вращения электродвигателя n [мин⁻¹] определяют экспериментально при установке электродвигателя на стенде в балансирном исполнении.

Таким образом, КПД моечной установки может быть представлен в окончательном виде

$$\eta_{\text{н}} = \frac{N_{\text{пол}}}{N_{\text{потр}}} = \frac{10^{-3} \cdot 9550 F \cdot v}{M \cdot n} = 9,55 \frac{F \cdot v}{M \cdot n}. \quad (4)$$

В связи с отсутствием в каталогах производителей моечных машин данных по силе и скорости струи (1;2) и крутящему моменту и

частоте вращения приводящего электродвигателя (3;4), делаем следующие допущения:

– вместо полезной мощности $N_{\text{пол}}$ (2) принимаем эффективную мощность насоса

$$N_{\text{пол}} \approx N_{\text{эф.н}} = \frac{p_{\text{н}} \cdot Q_{\text{н}}}{60}, \text{ кВт}, \quad (5)$$

где $p_{\text{н}}$ – давление, развиваемое насосом, которое снижается в сопловом аппарате из-за гидравлических потерь, МПа; $Q_{\text{н}}$ – подача насоса, которая полностью сохраняется постоянной на выходе соплового аппарата, исходя из уравнения неразрывности жидкости, л/мин; а вместо потребляемой мощности $N_{\text{потр}}$ (3) принимаем установочную мощность насосной установки, т.е. паспортную мощность электродвигателя

$$N_{\text{потр}} \approx N_{\text{уст.эдв}} \cdot \quad (6)$$

В результате принятых допущений вычисляем приближенное значение КПД моечной установки

$$\eta_{\approx \text{м.уст}} = \frac{N_{\text{эф.н}}}{N_{\text{уст.эдв}}}, \quad (7)$$

т.е. по данным каталогов производителей моечных установок.

Отметим важность оптимального выбора установочной мощности электродвигателя, так как при выборе электродвигателя с заниженной установочной мощностью имеется риск его «опрокидывания» и последующего выхода из строя; при повышенной установочной мощности возрастают капитальные затраты на его приобретение и потери в сети.

Результаты расчетов приведены в табл. 1, которые показывают, что полный КПД моечных установок колеблется в широких пределах: $\eta_{\approx \text{м.уст}} = 0,53\text{--}0,83\%$.

По нашему мнению, столь низкий КПД можно объяснить высокой форсированностью гидравлических установок по давлению и частоте вращения ($1400\text{--}2800 \text{ мин}^{-1}$), а также несовершенством конструкций используемых рабочих органов (насадков).

Для расчета оптимальных параметров насадков воспользуемся формулой расхода воды через дроссель при турбулентном режиме течения

$$Q_{\text{др}} = 60\mu \cdot S_{\text{др}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = 60 \frac{1}{\sqrt{\xi}} S_{\text{др}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \text{ л/мин}, \quad (8)$$

где $S_{\text{др}}$ – площадь дросселя, мм^2 ; $\Delta p = p_1 - p_2$ – перепад давлений на дросселе между входом и выходом, МПа; ρ – плотность жидкости, кг/м^3 ; μ – коэффициент расхода, который связан с коэффициентом местного сопротивления соотношением

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi}}. \quad (9)$$

Значения ξ для различных сопротивлений типа внезапное расширение-сужение потока, конический переходник и поворот потока определяются экспериментальным путем и приведены в соответствующих справочниках по гидравлическим сопротивлениям.

Перепад давлений на сопротивлении и скорость струи

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot Q_{\text{др}}^2}{2 \cdot (60 \cdot \mu \cdot S_{\text{др}})^2}, \text{ МПа},$$

$$v = 21,2 \frac{Q}{d^2}, \text{ м/с}, \quad (10)$$

где Q – расход, л/мин; d – диаметр трубопровода, мм.

Таблица 1 – Техническая характеристика импортных моечных машин

Технические параметры	Марки моечных машин				
	HD715	HD1000SL	HD1040B	HD9/204M	HD1050B
Подача воды, л/ч	240–700	150–840	200–850	460–900	400–930
Давление, бар	10–160	10–130	10–210	40–200	40–230
$N_{\text{уст.эдв}}$, кВт	4	5,6	8,0	7,0	9,75
$N_{\text{эф.н}}$, кВт	3,04	2,99	4,95	5,0	5,29
КПД $\eta_{\approx \text{м.уст}}$, %	76	53,3	61	71,4	54,2

Окончание табл. 1

Технические параметры	Марки моечных машин				
	HDS551Ew	HDS698CEw	HDC798C	HDS801E	HDS1000DE
Подача воды, л/ч	550	300–650	350–750	300–700	450–900
Давление, бар	140	30–160	30–180	30–150	40–200
$N_{уст.эдр}$, кВт	3,2	4,5	5,6	5,6	7,4
$N_{эф.н}$, кВт	2,12	2,88	3,6	3,0	5,0
КПД $\eta_{\approx м.уст}$, %	66,2	64,0	64,2	53,5	67,5

Технические параметры	Марки моечных машин				
	HDS1195SEw	HDS2000S	DS2640T4	DS3180	DSPL2880T
Подача воды, л/ч	600–1200	800–1850	390–780	630–1300	650–1300
Давление, бар	30–180	30–180	30–180	40–220	30–170
$N_{уст.эдр}$, кВт	8,2	13,4	5,3	9,5	8
$N_{эф.н}$, кВт	5,94	9,18	3,88	7,92	5,78
КПД $\eta_{\approx м.уст}$, %	72,4	68,5	73,2	83,3	72,2

Технические параметры	Марки моечных машин				
	G1500T	Elite1910M	Elite2840T	DPL3060T	X5DS3670T
Подача воды, л/ч	500	300–600	390–780	475–960	890–1000
Давление, бар	150	30–130	30–190	30–215	30–250
$N_{уст.эдр}$, кВт	2,7	3,0	5,3	7,0	9,5
$N_{эф.н}$, кВт	2,07	2,08	4,1	5,7	6,92
КПД $\eta_{\approx м.уст}$, %	76,6	69,3	77,3	81,4	72,0

По данным источников [2, 3] насадок представляет собой устройство, преобразующее потенциальную энергию давления жидкости в кинетическую энергию струи. Чем выше КПД такого процесса, тем больше кинетическая энергия струи, которая расходуется на выполнение работы по отделению и удалению загрязнений с поверхностей машин.

Из имеющихся данных [3] следует, что для конически сходящихся насадков μ может изменяться в пределах 0,82–0,946, а для коноидальных – от 0,96–0,98. В то же время в расчетах для маловязких жидкостей, как вода и др., принимается усредненное значение $\mu = 0,62$. Тем самым признается возможность необоснованно высоких потерь энергии при преобразовании энергии давления жидкости в кинетическую энергию струи.

Нами был изготовлен брендспойт, оснащенный конически сходящимся насадком, формирующим компактную с большой дальностью выброса струю. Такие параметры струи подтвердили возможность повышения энергонасыщенности струи, но, в то же время, стало ясно, что такая струя как инструмент очистки поверхностей машины не всегда пригодна для работы на посту мойки.

В связи с этим была поставлена задача сохранить высоким запас кинетической энергии в струе и придать ей легко трансформируемую форму, пригодную для мойки поверхностей с различной степенью загрязненности. Основная идея сохранения кинетической энергии струи поясняется следующим математическим выражением [4]:

$$E_k = \frac{mV^2}{2} + I \frac{w^2}{2}, \quad (11)$$

где m – масса движущегося потока жидкости в струе, кг; V – скорость движения частиц воды вдоль оси струи, м/с; I – момент инерции вращающегося потока жидкости в струе, кг·м²; w – угловая скорость вращения струи, рад/с.

Из данного математического выражения следует, что сохранение запаса кинетической энергии в струе возможно при наложении вращательного движения, что, в свою очередь, позволяет регулировать угол ее распыления.

Данная идея была материализована в конструкции брендспойта, на которую получен патент [5]. Опытный образец такого бренд-

спойта с конически сходящимся насадком диаметром менее 1,8 мм позволил получать струю с диапазоном угла распыления от минимального (рис. 1) до максимального, представленного на рис. 2. Регулирование угла распыления плавное и обеспечивается рукояткой управления с малым углом поворота. Такая технологическая возможность брендспойта позволяет эффективно проводить мойку крупногабаритной сельскохозяйственной, строительной и военной техники с высокой степенью загрязненности поверхностей.



Рис. 1. Форма струи с минимальным углом распыления ($d_n = 1,8$ мм, $p \geq 12$ МПа)



Рис. 2. Форма струи с максимальным углом распыления ($d_n = 1,8$ мм, $p \geq 12$ МПа)

Общий вид опытного образца брендспойта и адаптеров к нему представлен на рис. 3.

На втором этапе исследований была выдвинута идея создания адаптера – турбофрезы с регулируемой частотой вращения насадки – волчка. Являясь весьма эффективным инструментом для удаления прочносвязанных загрязнений компактной струей высокого давления, она имела серьезный недостаток, который заключался, по нашему мнению, в отсутствии возможности регулирования частоты вращения насадки – волчка при постоянно высоком давлении. В известных устройствах это можно было делать только

регулированием давления у насадка или расхода воды. Такая система регулирования имеет серьезный недостаток, проявляющийся в резком изменении параметров технологического процесса. Этот недостаток устранен в предложенной новой конструкции турбофрезы, где регулирование частоты вращения насадки – волчка происходит при первоначально заданных давлении и расходе воды. Ее конструкция защищена патентом на изобретение [6].

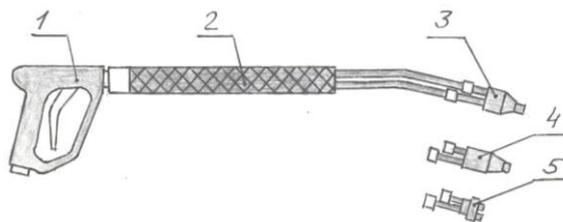


Рис. 3. Общий вид брендспойта и сменных адаптеров к нему: 1 – рукоятка с запорным клапаном; 2 – ствол; 3 – насадок для формирования вращающейся струи с регулируемым углом распыления (патент (ВУ) №16761 «Брендспойт» УО «БГАТУ» 2010.08.05); 4 – турбофреза с регулируемой частотой вращения волчка – насадки (патент (ВУ) №17517 «Гидрофреза» УО «БГАТУ» 2011.04.14); 5 – многоструйная насадка с истечением жидкости в режиме гидродинамической кавитации

Указанный адаптер рекомендуется использовать для удаления прочносвязанных загрязнений с полов, стен, крыши и других поверхностей производственных объектов.

В качестве еще одного адаптера предложена конструкция многоструйной насадки, обеспечивающей режим гидродинамической кавитации в потоке выбрасываемой соплами воды. Область применения такой насадки – это мойка и дезинфекция машин и оборудования в животноводстве и птицеводстве, а также молочного и другого оборудования в переработке. Есть основания полагать об эффективности его применения при подготовке поверхностей машин и окраске, а также дегазации и дезактивации специальной техники.

Проведенные производственные испытания брендспойта с конически сходящимся соплом подтвердили в целом правильность принятых технических решений. Отмечено заметное снижение концентрации мелкодисперсной водяной пыли в зоне работы мойщика. Известно [7], что высокая концентра-

ция водяной пыли является крайне вредным производственным фактором. Было внесено предложение по уменьшению массы инструмента. Конструкция брендспойта доработана, а его масса снижена до 2,4 кг.

Выводы

Современные высоконапорные шланговые моечные установки характеризуются низким уровнем энергоэффективности, и их КПД колеблется в пределах от 53,3 до 83,3 %. Предложена качественно новая конструкция рабочего органа (брендспойта) с набором адаптеров, не только повышающих энергоэффективность, но и расширяющих технологические возможности шланговых моечных машин. Это стало возможным благодаря использованию принципа «вращающихся» струй и явления гидродинамической кавитации.

УО «БГАТУ» может передать свои разработки заинтересованным организациям на условиях лицензионного договора.

Литература

1. Лепешкин А.В. Гидравлика и гидропневмопривод: учеб. по специальности «Автомобиле- и тракторостроение». Ч. 2 : Гидравлические машины и гидропневмопривод / А.В. Лепешкин, А.А. Михайлин, А.А. Шейпак. – 3-е изд., стер. – М., 2005. – 352 с.
2. Медведев В.Ф. Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие / В.Ф. Медведев. – Минск: Вышэйшая школа, 1998. – 310 с.
3. Башта Т.М. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы: учебник для машиностроит. специальностей вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др.; под ред. Т. М. Башты. – М.: Машиностроение, 1970. – 504 с.
4. Костко О.К. Универсальный справочник по физике: учебное пособие / О.К. Костко. – М.: Лист. 2003. – 480 с.
5. Патент на изобретение №16761 «Брендспойт» УО «БГАТУ» 2010.08.05. Хилько И.И. и др. // Афіцыйны бюл. / Национальный центр интеллектуальной собственности Респ. Беларусь – 2011.08.05.
6. Патент на изобретение №17517 2011.08.05. «Гидрофреза» УО «БГАТУ» Хилько И.И. и др. // Афіцыйны бюл. / Национальный центр интеллектуальной собственности Респ. Беларусь
7. Латышенко М.В. Устройство для безопасной очистки техники / М.В. Латышенко, А.В. Шемякин, Е.Ю. Шемякина и др. // Грузовик. – 2010. – №10. – С. 16–17.

Reference

1. Lepeshkin, A.V., Mihajlin, A.A., Shejpak, A.A. (2005). *Gidravlika i gidropnevmoпривод [Hydraulics and hydraulic pneumatic drive]*. 3rd. ed. Moscow. Ch. 2 : *Gidravlicheskie mashiny i gidropnevmoпривод [in Russian]*.
2. Medvedev, V.F. (1998). *Gidravlika i gidravlicheskie mashiny [Hydraulics and hydraulic machines]*. Minsk: Vyshjejskaja shkola [in Russian].
3. Bashta, T.M., Rudnev, S.S., Nekrasov, B.B. i dr. (1970). *Gidravlika, gidravlicheskie mashiny i gidravlicheskie privody [Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic drives]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
4. Kostko, O.K. (2003). *Universal'nyj spravochnik po fizike [Universal guide in physics]*. Moscow: List [in Russian].
5. Khilko, I. Brandspojt [Hose] 2010.08.05 Patent Belarus no. 16761 [in Belorussian].
6. Khilko, I. Hidrofresa [Hdrophore]. Patent no. 17517 UO «BGATU» 2011.08.05 [in Belorussian].
7. Latyshenok, M.V, Shemjakin, A.V., Shemjakina, E.Ju., Tarakanova, N.M. (2010). *Ustrojstvo dlja bezo-pasnoj ochistki tehnik. [Device for safe cleaning of the equipment]*. *Gruzovik - Trucks*, 10, 16-17 [in Russian].

Хилько Иван Иванович, к.т.н., доцент, кафедра технологии и организации технического сервиса,
т. +375172674464, xii.tots@bsatu.by;
Белорусский государственный аграрный технический университет,
220022, Республика Беларусь, г. Минск, просп. Независимости, 99.

Гарост Митрофан Митрофанович, к.т.н., доцент, кафедра строительных и дорожных машин,
т. +375172659756, mmg_ftk@bntu.by
Белорусский национальный технический университет,
220013, Республика Беларусь,
г. Минск, просп. Независимости, 65.

Разаренов Леонид Владимирович, к.т.н., доцент, кафедра строительных и дорожных машин, т. 057 7387797.

Lrazarenof@gmail.com

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет,
г. Харьков, ул. Я. Мудрого, 25

IMPROVEMENT OF HOSE WASHING MACHINES

Khilko I., Belarusian State Agrarian Technical University,
Garost M., Belarusian National Technical University,
Razarenov L., KhNAHU

Abstract. Problem. Application of up-to-date approach to solution of this problem gives a higher efficiency coefficient of the washing machine. The analysis of the market for the manufactured machines, which has been made, proves that the main producers are the companies of Germany and Italy, which have the production facilities on the territory of Belarus. In these conditions evaluation of the engineering level and improvement of the equipment being produced is an important stage. **Goal.** Estimation of energy efficiency of modern high-pressure hose washing machines which stipulates the most important part of technical process in the system of machine maintenance has been given. **Methodology.** Estimation of engineering level was made basing on determination of efficiency coefficient of the assembly, in the result the broad limits of the washing machines efficiency coefficient were set up. The reasons for low efficiency coefficient of machines were given as well as the ways to increase it at the expense of rational conversion of potential energy of fluid pressure into kinetic energy of a jet. The proposed theoretical calculations have been proved experimentally in the design of the hose, and its originality helped receive a patent. **Results.** Application of smooth control of the angle of spraying makes washing outsized equipment with high degree of dirtiness more efficient. **Originality value.** Creating an adaptor – a turbo cutter with regulated frequency of nozzle rotation without regulation of fluid pressure helps remove tightly bound dirt. **Practical.** Due to the usage of the principle of «rotating» jets and the phenomenon of hydraulic cavitation a new design of a hose with a set of adapters that broaden the engineering possibilities of hose washing machines of increased efficiency has been suggested.

Key words: washing machine, adapter, nozzle, oscillation.

УДОСКОНАЛЕННЯ ШЛАНГОВИХ МИЙНИХ МАШИН

Хилько І.І., Білоруський державний аграрний технічний університет,
Гарост М.М., Білоруський національний технічний університет,
Разарьонов Л.В., ХНАДУ

Анотація. Дано оцінку енергоефективності сучасних високонапірних шлангових мийних машин від якої залежить найбільш важлива складова технічного процесу в системі технічної експлуатації машин. Застосування сучасних підходів до вирішення цієї проблеми дає більш високий ККД, мийної машини. Проведений аналіз ринку машин, які випускаються, показує, що основними виробниками продукції є, фірми Німеччини і Італії, які мають виробничі бази на території республіки Білорусь. У цих умовах важливим етапом є оцінка технічного рівня і вдосконалення устаткування, що випускається. Оцінка технічного рівня проводилась на основі визначення ККД установки, в результаті були встановлені широкі межі ККД мийних машин. Наведено опис низького ККД машин і шляхи збільшення його за рахунок перетворення потенційної енергії тиску рідини в кінетичну енергію струменя. Запропоновані теоретичні розрахунки які підтверджені технічним рішенням і матеріалізацією в конструкції брандспойта з відповідним отриманням патенту. Застосування плавного регулювання кута розпилення дає більш ефективну мийку великогабаритної техніки з високим ступенем забрудненості. Створення адаптера – турбофрези з регульованою частотою обертання насадки без регулювання тиску рідини, що дозволяє приділяти міцно зв'язані забруднення. Завдяки використанню принципу «оберткових» струменів і явищі гідравлічної кавітації запропонована нова конструкція брандспойта з набором адаптерів, які розширюють технологічні можливості шлангових мийних машин з збільшення їх енергоефективності.

Ключові слова: мийна машина, адаптер, насадка, коливання.