

**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧИСТОТЫ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ
И ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЕМКОСТЕЙ
РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ**

Д.С. Абраменко¹, С.О. Давидов²

¹ Дніпровський національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпро, Україна,
dmitriy.dts@gmail.com, ORCID 0000-0002-1101-5713

² Дніпровський національний університет ім. Олесь Гончара, Дніпро, Україна,
sdavydov1960@gmail.com, ORCID 0000-0002-4142-7217

**ANALYSIS OF EXISTING METHODS AND MEANS OF PROVIDING INDUSTRIAL
CLEANLINESS OF PNEUMATIC HYDRAULIC AND FUEL SYSTEMS OF LARGE-SIZED
TANKS OF ROCKET AND SPACE EQUIPMENT**

D.S. Abramenko¹, S.A. Davidov²

¹ Oles Honchar Dnipro National University, Ukraine,
dmitriy.dts@gmail.com, ORCID 0000-0002-1101-5713

² Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine,
sdavydov1960@gmail.com ORCID 0000-0002-4142-7217

Мета. Мета роботи є оптимізація проектно-конструкторських рішень гідроструминного очищення вузлів ракетно-космічної техніки шляхом досягнення необхідних показників струменя миючої рідини за допомогою оптимізації конструкції соплового пристрою.

Методика дослідження. Аналіз, експеримент, спостереження, вимірювання, обробка експериментальних даних, математичне моделювання, статистичний та порівняльний аналіз.

Результати дослідження. Проведено аналіз існуючих методів і засобів щодо забезпечення промислової чистоти пневмогідрравлічних і паливних систем виробів РКТ. Наведено негативний вплив забруднень порожнин на працездатність виробів і наведені приклади позаштатних ситуацій, як наслідок певної проблеми. Визначено обмеження режимів мийки, підібрана миюча рідина. Розроблена математична модель впливу конструктивних особливостей прохідного каналу соплового пристрою на розподілення динамічного тиску струменя миючої рідини від її довжини.

Наукова новизна. Обґрунтований критерій якості соплового пристрою – коефіцієнт осьового динамічного тиску, що дає можливість підібрати оптимальну конструкцію соплового пристрою під задані режими миття ємностей, що забезпечує мінімальні енерговитрати. Розроблено методику визначення оптимальної конструкції соплових пристроїв, яка дозволяє розробити малогабаритні мийні головки.

Практичне значення результатів роботи. Отримані результати використано для впровадження технології механізованого струминного очищення паливних відсіків I та II ступенів РКН «Циклон-4» на підприємстві ДП «ПО ЮМЗ ім. А.М. Макарова». Вони також можуть бути використані при створенні нових виробів РКТ та авіації, та для зниження трудомісткості знежирення головних обтічників сучасних ракет-носіїв. Крім того, отримані результати роботи можуть бути використані в хімічній, нафтохімічній, гірській та харчовій галузях промисловості для очищення великогабаритних ємностей, авто- та залізничних цистерн, гідровідбивки вугілля тощо.

Ключові слова: *гідроструйна очищення, мийна голівка, паливні баки, рівень чистоти, режими мийки.*

Загрязнённость полостей пневмогидросистем (ПГС) отрицательно влияет на работоспособность изделий. По статистическим данным до 50% всех отказов гидравлических систем, связанных с выходом из строя насосов, заклиниванием распределительных и регулирующих устройств, повышенным износом ответственных деталей, снижением жесткости системы и с другими дефектами, происходит по причине чрезмерной загрязненности [1, 2, 3]. Важным является также и то, что выход из строя гидравлической системы приводит, как правило, к отказу системы управления всего изделия, что может повлечь за собой аварию [4].

Обеспечение промышленной чистоты узлов и агрегатов изделий РКТ является комплексным вопросом и зависит от ряда факторов:

- а) технологии изготовления и культуры производства;
- б) методов и средств очистки и контроля;
- в) правильной организации монтажно-сборочных работ.

Одним из важнейших вопросов в проблеме обеспечения чистоты ПГС РКТ является очистка полостей крупногабаритных емкостей [5]. Типичной крупногабаритной емкостью является топливный бак, который изготавливается из металлических материалов.

Очистка поверхностей металлических деталей, внутренних полостей узлов, агрегатов и систем представляет собой совокупность сложных физико-химических и механических процессов, эффективность которых зависит от свойств моющей среды, размера и свойств частиц загрязнений, технологических режимов очистки, конструктивных особенностей очищаемых деталей, агрегатов и систем. Вид и степень оставшихся после очистки загрязнений поверхности зависит, в основном, от способа очистки и типа моющей среды.

Продолжительность процесса очистки топливных баков современных изделий достигает 10-15 % от общих затрат времени на их изготовление и сборку. Поэтому выбор моющей среды, способа и гидродинамических параметров очистки является важным этапом в технологическом процессе изготовления изделий РКТ.

Производственные механические загрязнения представляют собой совокупность компонентов искусственного и естественного происхождения, характеризующихся прочными адгезионными, электростатическими и ионными связями, как между собой, так и с очищаемой поверхностью. Образованию прочных адгезионных связей способствует состояние развитой вафельной поверхности и использование на предшествующих операциях обезжиривания органических растворителей, образующих на очищаемой поверхности адгезионную плёнку.

В общем виде все загрязнения могут быть отнесены к двум группам [1]:

- органические загрязнения;
- неорганические (механические) загрязнения.

Различают три степени загрязнения: слабую, среднюю, сильную. При слабом загрязнении поверхность деталей покрыта легкими неравномерными загрязнениями (например, масла, пыль). При среднем загрязнении поверхность деталей покрыта небольшим равномерным слоем смазки, эмульсионных охлаждающих жидкостей с частицами металлической стружки. При сильном загрязнении поверхность деталей покрыта толстым слоем консервационной смазки или масла после термической обработки. Для удаления наиболее распространенных загрязнений расходуется значительная энергия (кДж/м²) [1]:

- механические примеси (дорожно-почвенные загрязнения) – 3600;
- масляно-грязевые – 7200;
- асфальтено-смолистые вещества – 10800;
- лакокрасочные покрытия – 14400;
- нагар – 36000.

Характер загрязнений для топливных отсеков авиационной и ракетно-космической техники соответствует механическим примесям со слабой степенью загрязнения и прочности связи [1]. Для их удаления потребуется не менее 3600 кДж/м².

В последние двадцать лет мировая аэрокосмическая промышленность была нацелена на высокий уровень чистоты выпускаемых изделий. Для этого в США был разработан Военный стандарт MIL-STD-1246C «Уровни чистоты изделий и программа контроля загрязнений», последняя редакция которого вышла 11 апреля 1994г [6]. Требования к внутренней чистоте баков кислородосодержащих компонентов топлива предъявляется на уровне 500D.

Таблица 1.1 – Требования стандарта MIL-STD-1246C на уровне 500D к внутренней чистоте баков кислородосодержащих компонентов топлива

Уровень чистоты	Размер фракции, 10 ⁻⁶ м	Количество частиц по фракциям на поверхности детали или в объеме жидкости, не более, шт (для уровня D – 10-6 кг)	
		0,1 м ²	10 ⁻³ м ³
500	50	11817	118170
	100	1100	11000
	250	26	260
	500	1	10
D	органические загрязнения	4	4

Загрязнения металлических поверхностей в виде пленок, прилипших твердых частиц, масел, смазок могут быть удалены в результате механического воздействия, растворения, химической реакции или смывания. Очисткой полостей крупногабаритных емкостей занимаются во многих отраслях тяжелого машиностроения. Как показала практика очистки крупногабаритных узлов (не только емкостей) в машиностроении, широко применяется струйная очистка незатопленными струями моющей жидкости [9, 10, 11, 12, 12 – 15, 16]. Типовая схема струйной очистки крупногабаритной емкости представлена на рисунке 1.1.

Струйная очистка является в настоящее время одним из наиболее эффективных способов очищающего воздействия на поверхность за счет механического, физико-химического или химического факторов. Основным условием очистки является превышение динамического давления струи над прочностными связями загрязнений с поверхностью. При этом определяющим параметром механического воздействия является давление очищающей струи. По величине давления на срезе сопла гидродинамические струи разделяют на струи низкого (до 1 МПа), среднего (1-5 МПа) и высокого давления (5-60 МПа).

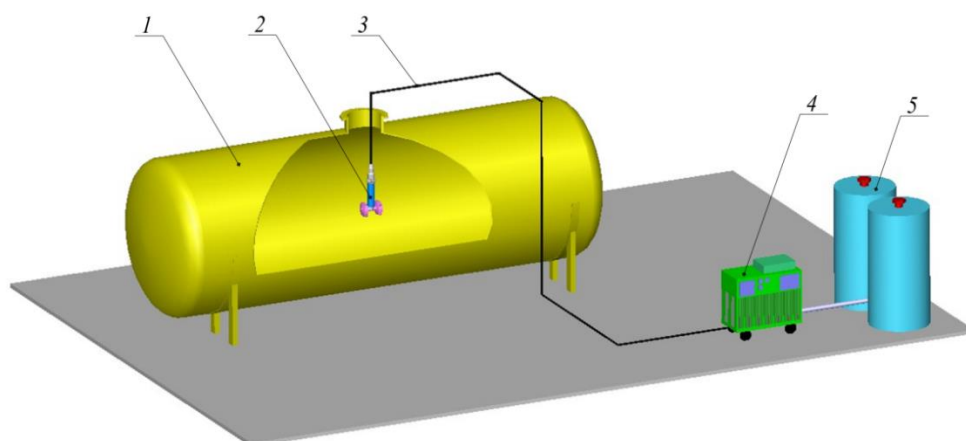


Рисунок 1.1 – Принципиальная схема очистки емкостей
 1 – емкость; 2 – моечная головка; 3 – шланг подачи жидкости; 4 – насос;
 5 – емкости с моющей жидкостью

Широкое распространение струйная очистка водными растворами получила для очистки крупногабаритных емкостей изделий ракетно-космической техники, отличающихся большой конструктивной насыщенностью и затрудненным доступом к очищаемым поверхностям. При этом эффективность очистки достигается при совместном вращении и перемещении струй моющей жидкости внутри промываемой емкости с применением высоконапорных моющих устройств (рис. 1.2).

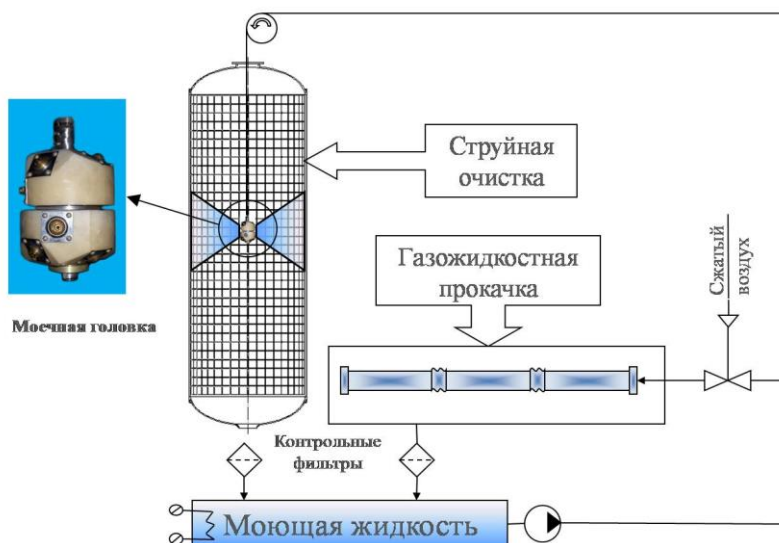


Рисунок 1.2 – Принципиальная схема механизированной очистки топливных отсеков незатопленными струями моющей жидкости в РКТ

Основным узлом моечного оборудования является моечная головка с сопловыми устройствами, благодаря которой и обеспечивается высокое качество очистки емкостей.

В молочной промышленности широко используется моечное оборудование фирмы Керхер. Основным и уникальным узлом по своим конструктивным особенностям является моечная головка (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Моечная головка HKS 100 разработки фирмы Керхер

Моечная головка (рис. 1.3) высокого давления с реактивным жидкостным двигателем для чистки резервуаров. Расход и давление могут быть индивидуально подобраны для очищаемой ёмкости так, чтобы моечная головка была фактически универсальна в применении. Моечная головка выполнена компактно и удобна в использовании. Привод двигателя обеспечивает преимущества в передвижном применении. Пространственное вращение сопел в двух плоскостях, произведено через положительно-соединенный двигатель сопла. Асимметричная зубчатая передача с её большим количеством зубов гарантирует близко расположенные реактивные проходы и таким образом интенсивную чистку всей внутренней поверхности резервуара. Скорость вращения сохраняется постоянной внутренней циркуляцией жидкости, которая передается через дроссельную заслонку так, чтобы расход, и таким образом скорость могли быть оптимизированы под необходимую задачу очистки.

Таблица 1.2 Технические характеристики моечной головки HKS 100

Параметр	Величина параметра
Расход жидкости, л/ч	2400 – 6000
Давление, бар	40 – 100
Температура, °С	60 (80)
Мин. размер люк-лаза, мм	200
Частота вращения 1/мин	8 – 40
Масса, кг	6

К недостаткам моечной головки Керхер можно отнести использование механизма вращения в горизонтальной плоскости. Этот механизм использует электрический привод. В качестве смазки вращающегося механизма используется масло. В случае утечки масла оно попадает в моющую полость и требуется дополнительная чистка бака, а в большинстве случаев попадание сторонних материалов недопустимо. Моечная головка (МГ) часто выходит из строя и ее периодически не реже раз в полгода необходимо проводить ремонтные работы.

Моечное оборудование требовательно к качеству воды. Необходимо использовать только дистиллированную воду. При использовании не дистиллированной воды выходит из строя аппарат высокого давления.

Используемая моечная жидкость на отечественном производстве для очистки емкостей бихромат калия 0,2 % (содержит мелкий порошок) [4], что не применимо на керхеровской моечной головке.

На расстоянии 15-20 см давление струи моющей жидкости достигает от 10 – 11 МПа, что может привести к повреждениям внутри баковых устройств [5, 9]. Также к существенным недостаткам относится высокая стоимость МГ.

Близкой по своей конструкции и по принципам работы является промывочная головка «Циклон» (рис. 1.4), российской разработки.

Промывочная головка обеспечивает очистку внутренней полости железнодорожной цистерны, за счет пространственно движущейся струи горячей воды, подаваемой в промывочную головку под давлением. Промывочная головка с помощью легкоъемного приспособления устанавливается в верхний наливной люк цистерны. Промывочная головка целиком выполнена из коррозионностойких сталей, которые устойчивы к действию агрессивных сред и при соударениях и трении не создают искр. Конструкция промывочной головки обеспечивает очистку цистерн от остатков нефтепродуктов, химических продуктов, пищевых продуктов и тому подобное [7]. К недостаткам данной конструкции МГ можно отнести использование зубчатой передачи для вращения ее корпуса, что представляет опасность заклинивания и выхода из строя всего механизма.

Таблица 1.3

Технические характеристики промывочной головки «Циклон»	
Параметр	Величина параметра
Рабочее давление, МПа:	2
максимальное	1
минимальное	1-1,5
рекомендуемое	
Рабочая температура, °С, не более	100
Продолжительность моечного цикла, мин	8-15
Число сопел, шт.	2-4
Диаметр сопел, мм	10-13
Расход моющей жидкости, м ³ , не более:	
за цикл	4,5
за час	25
Эффективная дальность струи, м	9-10
Время очистки стандартной железнодорожной цистерны, с	900
Масса прибора, кг, не более	5
Габаритные размеры, м	0,144 x 0,235 x 0,373

Применяемые в настоящее время на ПО ЮМЗ моечные головки (разработки УкрНИИТМ) для очистки обтекателей и топливных баков (ракеты-носители «Зенит» и «Таурус») показали высокую надежность и хорошее качество очистки. Головка представляет собой два ротора, вращающихся в одной плоскости в двух противоположных направлениях за счет реактивных сил жидкости, истекающей из сопел (рис. 1.5). Сопла располагаются под разными углами к плоскости вращения роторов, что обеспечивает подачу струй жидкости также под разными углами к удаляемым загрязнениям. Полный охват очищаемой поверхности достигается за счет вертикального перемещения шланги с моечной головкой вдоль очищаемого изделия. Для изделий с боковым расположением люка ввод шланга с моечной головкой и его позиционирование в очищаемой плоскости осуществляются при помощи специального приспособления.



Рисунок 1.4 – Промывочная головка «Циклон»

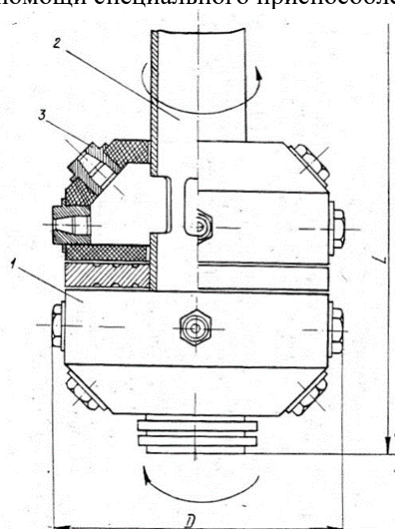


Рисунок 1.5 – Моечная головка разработки УкрНИИТМ

Енергозбереження та енергоефективність

К недостаткам данной конструкции МГ можно отнести не полный охват области чистки емкости. МГ необходимо перемещать вдоль емкости посредством вертикального механизма находящегося вне емкости.

Таблица 1.4

Технические характеристики МГ разработки УкрНИИТМ

Параметр	Величина параметра
Диаметр	155
Длина	400
Масса, кг	4,5
Число сопел	20
Диаметр выходного отверстия, мм	4
Наличие спрямляющего аппарата	есть
Число степеней свободы вращения роторов	1
Рабочее давление жидкости, МПа	0,6-0,7
Расстояние эффективного действия струи, м	2,5
Угол наклона сопел	фиксированный

Для очистки топливных полостей более сложных конструкций УкрНИИТМом в конце 80х годов прошлого века была разработана МГ, стационарно размещаемая в очищаемой полости и обеспечивающая вращение роторов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 1.6).

Данная головка успешно эксплуатировалась на протяжении всего периода выпуска комплекса Зенит. Однако, создание нового изделия – «Циклон-4» с иными конструктивными решениями требует и совершенствования проектно-конструкторских решений моющих устройств, позволяющих не только возможность их ввода в очищаемые полости, но и улучшающих динамические характеристики струй жидкости и обеспечивающих их прямое попадание на все точки очищаемой поверхности под разными углами наклона и по разным направлениям [5].

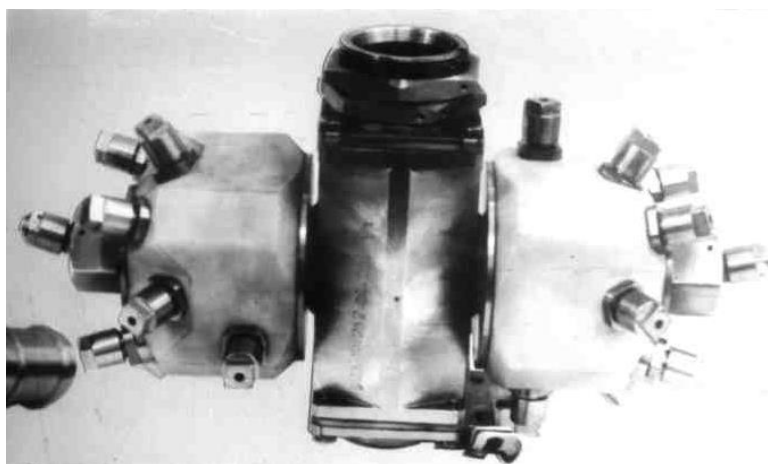


Рисунок 1.6 – Моечная головка, вращающаяся в двух плоскостях

Кроме того, как показал опыт эксплуатации моющих головок, применяющихся на ПО ЮМЗ, использование в этих конструкциях фторопластовых подшипников скольжения приводит к большим потерям моющей жидкости - до 50 % от общего расхода, влечет за собой падение давления, что снижает динамические характеристики струи, тем самым, увеличивая продолжительность мойки. Также применение данного материала сужает диапазон рабочей температуры моющей жидкости в пределах 15 – 25°C, а для применения некоторых моющих средств (например на основе водно-моющего средства «Деталан») его температура должна быть не ниже 35°C.

На ряду с конструктивным исполнением МГ, обеспечивающая доставку моющей жидкости к очищаемой поверхности, достижение оптимальных параметров физических показателей струи моющей жидкости обеспечивается проектно-конструкторскими решениями сопловых устройств. Существует много различных сопловых устройств, выполняющих требование дальноточности и компактности истекающих жидкостных струй.

Заслуживает внимания сопла, имеющие малые габариты при высоких энергетических характеристиках.

В качестве аналога можно рассмотреть щелевую форсунку [14], содержащую полый цилиндрический корпус с узлом подсоединения к напорному трубопроводу, расположенному на одном из его концов, соплом, установленным на другом конце корпуса соосно с ним и средством его фиксации, включающим винт. Для улучшения гидродинамических характеристик струи сопло выполнено в виде кольца с секторным вырезом, а средство фиксации сопла содержит оправку в виде колпачка, схватывающего кольцо и имеющего отверстие в центре для прохода винта. Рекомендуемое расстояние от щелевой форсунки до очищаемой поверхности 50 – 150 мм, рабочее давление 10 – 60 МПа. Принимая во внимание средние диаметры топливных отсеков около 3,0 м, то данная конструкция СУ является не эффективной.

В разработанных УкрНИИТМ моечных головках для ПО "Южный машиностроительный завод" используются жидкоструйные дальнобойные сопловые устройства [7], содержащие цилиндрический ствол с конической сужающейся выходной частью и размещенный в нем выпрямитель. Для уменьшения габаритов и повышения дальнобойности, выпрямитель выполнен в виде двух групп продольных перегородок, первая из которых установлена с образованием, по меньшей мере, четырех каналов, а вторая, по меньшей мере, девяти каналов. Длина первой группы перегородок выбрана от 1,0 до 1,2, длина второй группы перегородок - от 1,3 до 1,6, а зазор между группами выбран равный 0,2 внутреннего диаметра ствола. Эффективная рабочая длина струи таких СУ, при которой давление падает не менее чем в два раза, не более 1,0 м, при рабочем давлении 0,6 – 10,0 МПа.

Жидкоструйное сопловое устройство [11] имеет еще меньшие размеры, чем предыдущее при сохранении гидродинамических характеристик. Оно позволяет создавать облегченные малогабаритные моечные головки, позволяющие, по мнению заявителей, осуществлять эффективную жидкоструйную очистку крупногабаритных емкостей диаметром до 5...6 метров. Рабочее давление 0,6 – 10,0 МПа. Но данное СУ включает в себя выпрямители в виде сот, изготовленных из фольги (толщина не более 0,5 мм). Практика отработки таких устройств на ГП «ПО «ЮМЗ» показала, что в течение 5 – 6 месяцев эксплуатации данный выпрямитель сминается за счет абразивных частичек, находящихся в моющем растворе, и попадает в полость бака, тем самым еще больше загрязняя его. В виду этого пришлось отказаться от данного конструктивно-технологического решения.

В качестве моющих жидкостей могут использовать самые разнообразные водно-моющие растворы, фторохлоросодержащие растворители и составы. Традиционно в отечественной и зарубежной отрасли для очистки баков применяют фреон-113, нефрас либо 0,1 – 0,2 % раствор бихромата калия. Применение этих веществ не вызывает коррозию материалов, из которых изготовлен бак и внутрибаковые устройства, к тому же фреон-113 и раствор хромпика являются пожаробезопасными и не токсичными веществами. Перспективным является применение водно-моющих растворов, но они практически не регенерируются и на их утилизацию необходимо выделить больших денежных средств.

Выводы

1. Применение при производстве, эксплуатации и ремонте ПГС авиационной и ракетно-космической техники высокоэффективных методов и средств очистки обеспечивает значительный экономический эффект.

2. Как показала практика очистки крупногабаритных узлов (не только емкостей) в машиностроении, широко применяется струйная очистка незатопленными струями моющей жидкости как самый высокоэффективный метод очистки от органических и неорганических (механических) загрязнений.

3. В качестве моющих жидкостей используют раствор 0,1 – 0,2% бихромата калия и фреон-113, как не токсичные, не горючие вещества и не вызывающие коррозию металлических емкостей, подвергающихся мойке.

4. Конструктивное исполнение МГ и СУ весьма разнообразно и зависит от режимов мойки (давления, температуры) и внутренней конструкции очищаемой емкости (ВБУ, габариты и так далее). Применительно к РКТ при мойке баков необходимо использовать МГ, работающую на низком давлении, в виду того, что при превышении давления выше чем 1,5 МПа, то существует вероятность повреждения ВБУ.

5. МГ и СУ, применяемые в РКТ, обладают рядом отрицательных факторов, а именно:

- чувствительность к перепаду температур моющей жидкости (заклинивание МГ при повышении температуры более чем на 10°C);
- потери жидкости через уплотняющие элементы МГ до 50%;
- СУ приходят в негодность через 6 месяцев эксплуатации и тем самым дополнительно загрязняют очищаемую емкость.

Все эти факторы обуславливают актуальность проблемы обеспечения чистоты ПГС авиационной и ракетно-космической техники.

Список использованных источников

1. Потапович Л. П. Конструктивно-технологічні методи забезпечення чистоти ракетно-космічних об'єктів для підвищення надійності їх функціонування: дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 05.07.02 «Проектування, виробництво та випробування ЛА» / Потапович Л. П. – Днепропетровск, 2008. – 165 с.
2. Дмитрий Панов. Развиваем технологии создания ракет "Ангара" и "Союз-5", [Электронный ресурс] URL: <https://ria.ru/20170629/1497474701.html> - 2017.
3. Шандер А.Ю. Разработка методики очистки топливных баков и магистралей летательных аппаратов на основе акустических и вакуумных воздействий / Шандер А.Ю. // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров авиакосмической отрасли. Материалы XII Всероссийской научной конференции, посвященной памяти главного конструктора ПО «Полёт» А. С. Клинышкова. – Омск, 2018. – С. 126 – 132.
4. Экспериментальные исследования по выбору оптимального водно-моющего средства для обезжиривания поверхностей под «оксид»: Технический отчет / УкрНИИТМ. инв. № 1060. – Днепропетровск, 2008. – 38 с.
5. Экспериментальные исследования по сравнительным коррозионным испытаниям образцов, обезжиренных рекомендуемым водно-моющим средством и хладоном-113 : Технический отчет / УкрНИИТМ. инв. № 1080с. – Днепропетровск, 2009. – 17 с.
6. Product Cleanliness Levels and Contamination Control Program: MIL-STD-1246C. – [Accepted 11 April,1994]. – 56 p. – (Military Standard of USA).
7. А.с. 288624, СССР, МКИ4 В 08 В 9/36. Устройство для очистки емкостей/ К.А. Гудков, В.В. Ващенко, Ю.И. Мельник, М.Н. Хвостов. № 3193679/31-21. Заявлено 09.03.88г. Опубл. 14.05.1989, Бюл. № 23.
8. А. с. 1657229 СССР, МКИ4 В 08 В 9/08. Жидкоструйное сопловое устройство / С.М. Ермолаев, М. Н. Хвостов, В. М. Шаранюк, А. В. Кислица. - № 4703998; заявл. 03.04.1989; опубл. 23.06.1991, Бюл. № 2.
9. Грецов Н. А. Гидравлические основы струйного метода очистки деталей машин // Опыт применения новых моющих средств. – М. : ГОСИНТИ, 1973. – 237 с.
10. Струйная очистка емкостей. Методические основы создания моечной головки для струйной очистки / [Лобанов В. С. и др.] – НПТО, 1988. – №7. С. 45 – 49.
11. Пат. 14440 перереєстроване авторське свідоцтво СРСР, МПК В 05 В 1/02. Рідкоструминний сопловий прилад / Ермолаєв С. М., Єфімчук Б. П., Кіслиця О. В., Хвостов М. М., Шаранюк В. М.; власник Укр. наук.-дослід. ін-т машинобудування. – № 4703998/SU , заявка 03.04.89 ; опубл. 25.04.97, Бюл. № 2.
12. А. с. 1219177 СССР, МКМ4 В 08 В 3/08, В 08 В 9/08. Способ очистки внутренней поверхности емкостей / Ефимчук Б. П., Жуганов В. П., Сметанина Т. Г., Хвостов М. Н., Святодух А. С. – № 3813786/28-12 ; заявл. 15.11.84 ; опубл. 23.03.86, Бюл. № 11-20.
13. А.с. 651858 СССР, МКИ4 В 08 В 3/02. Установка для очистки крупногабаритных изделий / Колесников А. И., Гушин А. И., Ясько В. П., Кравченко В. Е., Прохоров В. М., Одинокоев В. Н. – № 2476295/28-Т2 ; заявл. 04.04.77.
14. А. с. 1121070 СССР, МКИ4 В 08 В 9/08. Щелевая форсунка / Одинцов Ю. А., Беликов В. Г., Жуйков В. И. – № 3363973/28-12 ; заявл. 03.12.81 ; опубл. 30.10.84, Бюл. № 40.
15. А. с. 1327986 СССР, МКИ4 В 08 В 9/08. Жидкоструйное дальнобойное сопловое устройство / Мальцев А. С., Ефимчук Б. П., Калининченко П. А., Баталионюк Т. Ю., Святодух А. С. – № 3974564; заявл. 04.11.1985; опубл. 07.08.1987, Бюл. № 29.
16. Алексеев Ю. С. Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів / За ред. д-ра техн. наук Є. О. Джуря: навч. посіб. / Ю. С. Алексеев, О. Є. Джур, О. В. Кулик, Л. Д. Кучма, Є. Ю. Ніколенко, В. В. Хуторний. – Д. : АРТ-ПРЕС. – 2007. – 480 с. Надійшла до редколегії 01.10.2010.

Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Дронь Н.М.

ABSTRACT

Purpose of work. The purpose of the work is to optimize the design and engineering solutions of hydrojet cleaning of rocket and space technology units by achieving the required performance of the jet of detergent by optimizing the design of the nozzle device.

Research methods. Analysis, measurement, processing of experimental data, statistical and comparative analysis.

Research results. The analysis of the existing methods and means for ensuring the industrial purity of pneumohydraulic and fuel systems of rocket products is carried out. A mathematical model of the influence of the design features of the passage channel of the nozzle device on the distribution of the dynamic pressure of the washing fluid jet from its length has been developed.

Scientific novelty. The substantiated criterion of quality of the nozzle device is the coefficient of axial dynamic pressure, which makes it possible to choose the optimal design of the nozzle device for the specified modes of tank washing, which ensures minimal energy consumption.

Practical significance of work results. The obtained results can be used to create new aviation products, and to reduce the complexity of degreasing the main fairings of modern launch vehicles. In addition, the results of the work can be used in the chemical, petrochemical, mining and food industries for cleaning large tanks, road and rail tanks, coal miners.

Key words: *hydro-jet cleaning, a washing head, fuel tanks, cleanliness level, clean mode.*