

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
КИЕВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

На правах рукописи

УДК 629.735.064.3-33;582.52

АНЦЕМЕБ ПЬЕР

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ДРОССЕЛИРОВАНИЯ НА КАВИТАЦИОННУЮ
СТОЙКОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОПРИВОДОВ
В ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ КАВИТАЦИОННЫХ СТРУЯХ

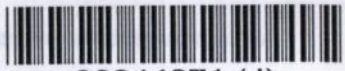
Специальность 05.02.03 - Система приводов

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

К И Е В 1 9 9 8

02-8

Работа выполнена в Киевской авиации,



00344071 (J)

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент ГЛАЗКОВ М.М.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ФЕДОРЦ В.А.

кандидат технических наук, доцент ЧЕБОТАРЕВ Л.И.

Ведущая организация:

Киевское центральное конструкторское бюро
арматуростроения

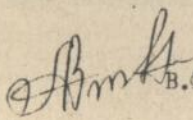
Защита состоится 10-9 1993 г. в _____ часов на
заседании специализированного совета К 072.04.08 при Киевском
институте инженеров гражданской авиации - 252058, Киев-58,
проспект Космонавта Комарова, 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института,

Автореферат разослан "21" ИЮЛЯ 1993 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные
печатью учреждения, просим направлять по указанному выше
адресу.

Ученый секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук

 В.Ф.ЛАБУНЕЦ

ДВ 84 498

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. Внедрение гидропривода в авиации, в сельхозмашиностроении и на мобильных машинах сопровождается ростом удельной мощности, повышением рабочих давлений и быстротходности. В практике проектирования и эксплуатации гидроприводов накоплен достаточно большой опыт по предотвращению кавитационных явлений. В большинстве случаев разрабатываемые методы прогнозирования и исключения нежелательных эффектов (эрозия, вибрация, пульсация давления) носят консервативный характер, недостаточно учитывают физическую сущность протекающих процессов.

В последнее десятилетие наметилась перспектива внедрения в ряде технологических процессов кавитационных функциональных устройств, а также возможность создания альтернативных газожидкостных топлив. Нетрадиционная постановка задачи о положительном использовании кавитационных эффектов и применения рабочих жидкостей с высоким процентным газосодержанием требует углубленного изучения процессов, происходящих при кавитационном дросселировании.

Проблема кавитационной эрозии приобрела актуальность с появлением на воздушных и морских судах и в сельскохозяйственных машинах гидроприводов высокого давления. Защита гидромашин от вредных последствий кавитации требует проведения специальных исследований. Одним из факторов, определяющих надежность и долговечность конструктивных элементов гидроприводов, является предупреждение в них эрозионных разрушений. Борьба с этим видом гидродинамического воздействия потока на агрегаты системы ведется несколькими методами: выбором эрозионностойких материалов, оптимизацией режимов функционирования гидроприводов, определением рациональных геометрических параметров дроссельных элементов гидроприводов.

Большинство исследований по кавитационной эрозии выполнены на пресной и морской воде, различных топливах, минеральных маслах или расплавах металлов. Чаще всего изучаются аспекты изменения структуры материалов, процессов разрушения и относительной эрозионной стойкости металлов.

Однако систематические данные о кавитационной стойкости элементов конструкции гидроприводов в среде газонасыщенных рабочих жидкостей и зависимость их от параметров дросселирования потоков отсутствуют.

Результаты исследований гидродинамического воздействия потока на детали гидропривода можно использовать и для решения других актуальных вопросов. В последнее время появились сообщения об использовании кавитационных эффектов в процессах гидрорезания металлов, очистки сточных вод, смешения углепластиков при изготовлении композиционных материалов. Наиболее доступным и эффективным представляется использование кавитационной струи в технологических процессах обеспечения промышленной очистки и промывки изделий в том числе и в авиационном агрегатостроении.

Характеристики кавитационного дросселирования, сопровождающегося газовыделением и эрозией изучены недостаточно. Поэтому исследование закономерности протекания кавитационной эрозии в газонасыщенных жидкостях, а также изучение влияния эксплуатационных факторов на интенсивность кавитационной эрозии актуальны как в научном, так и практическом плане.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью работы является повышение сроков службы конструктивных элементов гидроприводов путем разработки рекомендаций по предупреждению эрозии элементов гидроприводов в кавитационных газонасыщенных струях на основе изучения зависимости между параметрами дросселирования и инкубационным периодом разрушения (порог кавитационной стойкости металлов).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести исследования кавитационных процессов и разработать рекомендации по выбору шадающих режимов дросселирования газонасыщенных рабочих жидкостей гидроприводов;

2. Обосновать рациональные параметры устройств для определения кавитационной стойкости металлов и сплавов;

3. Разработать рекомендации по выбору режимов очистки и промывке элементов гидроприводов кавитационными струями;

4. Определить порог кавитационной стойкости металлов, применяемых для изготовления гидравлических агрегатов и установить зависимость скорости весовых потерь металлов от порога их кавитационной стойкости:

5. Разработать методику ускоренного определения эрозионной стойкости конструкционных материалов для изготовления гидроприводов.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА. Впервые получены данные о кавитационной стойкости элементов гидроприводов в среде газонасыщенной жидкости АМГ-10 из материалов Д16АТВ, 1Х18Н9Т, ВТ15 и БРОФ10-1. Установлены зависимости интенсивности кавитационной эрозии от параметров дросселирования, свойств металла, типа рабочей жидкости и геометрии дроссельного канала. Установлена связь между уносом массы металла и порогом его кавитационной стойкости, что позволило обосновать методику ускоренного определения эрозионной стойкости конструктивных элементов гидроприводов.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Результаты выполненных исследований позволяют количественно оценить параметры, влияющие на интенсивность кавитационной эрозии. Полученные данные позволяют определить меры по уменьшению или полному исключению кавитационной эрозии как на этапе конструирования гидроприводов, так и в процессе их ремонта или эксплуатации.

ПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты работы изложены и обсуждены на следующих конференциях и семинарах:

1. Всесоюзная научно-техническая конференция.

Проблемы динамики пневмогидравлических и топливных систем летательных аппаратов. (17-22 июня 1990 г.), Куйбышев.

2. I-ая Всесоюзная научно-техническая конференция ассоциации специалистов промышленной гидравлики и пневматики (11-12 июня 1991 г.), Киев.

3. Научно-технический семинар кафедры ГТС ВС КИИГА. (11 февраля 1991 г.) Киев, КИИГА.

4. II-ая Всесоюзная научно-техническая конференция ассоциации специалистов промышленной гидравлики и пневматики (14-15 апреля 1992 г.), Киев.

5. Научно-технический семинар кафедры ГТС ВС КИИГА. (8 марта 1993 г.), Киев, КИИГА.

ПУБЛИКАЦИИ. По материалам исследований опубликовано три печатных работы.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертация состоит из введения, пяти разделов и выводов. Она содержит 144 страниц текста, в том числе 40 рисунков, 7 таблиц. Библиография включает 148 наименований работ, в том числе 56 работ на иностранных языках.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований влияния условий дросселирования на кавитационную стойкость элементов конструкции гидроприводов в газонасыщенных кавитационных струях и сформулированы цели и задачи работы.

В первой главе на основании литературных данных представлены общие сведения о кавитационной эрозии. Отмечается, что исследования эрозии можно разделить на два научных направления. Первое преследует цель изучить природу кавитационной эрозии и выяснить механизм разрушения, а также факторы, влияющие на её интенсивность. Второе — посвящено металлургической стороне вопроса с целью разработки способов повышения кавитационной стойкости материалов, применяемых в современных приводах и гидромашинах, работающих в газонасыщенных кавитационных средах.

Приведенный анализ опубликованных работ показывает, что исследование кавитационной эрозии представляет значительный практический интерес для специалистов по гидравлике.

При работе гидросистемы происходит насыщение рабочей жидкости воздухом и другими газами. В некоторых ситуациях возможно насыщение и такими активными газами, как кислород. Механизм разрушения металлов в этом случае изучен недостаточно, весьма ограничены данные о кавитационной стойкости металлов и сплавов, применяющихся в гидроприводах. Практически нет данных о пороговой кавитационной стойкости металлов, применяемых в авиастроении и агрегатостроении.

Отмечено, что при кавитации происходит изменение физических характеристик рабочей жидкости; в частности снижается вязкость, плотность, температура кипения, уменьшается модуль упругости и модуль текучести. Перечисленные факторы существенно влияют и на интенсивность таких кавитационных процессов, как кавитационная эрозия, шум, вибрация, пульсация давления жидкости и др. Большинство исследователей основное внимание уделяют изучению процессов активного разрушения. Однако для гидроприводов более важным является так называемый инкубационный период разрушения, когда видимых нарушений поверхности материала еще нет. В этот период происходят структурные изменения поверхности материала и его микротвердости, увеличивается шероховатость. Определение порогов кавитационной стойкости представляет инте-

редо для обоснования параметров кавитационных технических устройств. Для очистки деталей от загрязнения известные модели эрозивного разрушения предполагают постоянное газосодержание, что в технических системах практически недостижимо. Следовательно, необходимы дополнительные исследования в этом направлении.

Недостаточно изученным является влияние на интенсивность уноса материала при кавитационной эрозии таких факторов, как физические свойства газа, их растворимость в жидкости, степень газонасыщения рабочего тела, геометрия образцов, угла между осью струи и образцом, расстояние между гидравлическим сопротивлением и образцом, геометрия кавитационной каверны, время действия кавитационной струи, геометрия дроссельного канала. Отдельного пояснения требует понятие "конструктивный элемент гидропривода". В контексте диссертации под этим термином следует понимать фрагмент проточной части гидравлического канала, подвергавшегося кавитационной эрозии. Таким образом, предполагается исследовать эрозивную стойкость не изолированных образцов металлов и сплавов, а их поведение в сочетании с другими элементами проточной части гидроприводов для различных вариантов геометрии, различных условий дросселирования при работе в среде газонасыщенных жидкостей.

Во второй главе приведены методика и программа исследования кавитационной эрозии.

В отличие от существующих методов ускоренного прогнозирования кавитационной эрозии в условиях лабораторных испытаний, отличающихся от натуральных, в настоящем исследовании применялась экспериментальная установка, в которой создавались условия имитирующие работу основных линий реальных гидравлических систем: высокого давления, избыточного давления и вакуума в резервуаре баке, испытания с различными типами жидкостей в диапазоне давления нагнетания от 0,1 до 2,5 МПа при расходах жидкости до 60 л/мин.

В качестве основной рабочей жидкости использовалось минеральное масло АМГ-10. В некоторых экспериментах использовались авиакеросин ТС-1.

С целью максимального приближения к натурным условиям, имеющим место в гидроприводах и системах высокого давления, установка снабжена специальными приспособлениями: камерой с конфу-

ворно-диффузорным насадком и камерой с цилиндрическим насадком. Эти устройства достаточно хорошо моделируют струю и вихревую форму кавитации, наиболее распространенные в дроссельных каналах гидроприводов. В приспособлениях образцы, как правило, устанавливались под прямым углом к кавитационной струе, что сокращает время испытания.

Режим дросселирования потока выбирался экспериментально, путем варьирования давления на выходе при постоянном давлении питания. Таким образом, представляется возможным, путем подбора относительного перепада давления, получать режим, который обеспечивает достаточно быстрый унос массы при эксперименте.

В качестве критерия подбора при моделировании процессов эрозии был выбран относительный перепад давления. При проведении испытаний относительный перепад давления составлял $\Delta \bar{p} = 0,93$ для камеры с конфузорно-диффузорным насадком и $\Delta \bar{p} = 0,83$ для камеры с цилиндрическим насадком.

Опыты проводились при температуре рабочей жидкости 293 ... 353 К. В качестве параметра интенсивности эрозии использовался унос массы образца, определяемый взвешиванием после определенной наработки. Взвешивание образцов производилось на аналитических весах типа АДВ-200 с точностью измерения 0,1 мг, что позволило фиксировать минимальные уносы массы.

Образцы изготавливались из листового материала Д16АТВ толщиной 2 мм. Использовались образцы-мишени двух типов: образцы типа А, выполненные в виде шайб диаметром 25 мм с центральным отверстием диаметром 4 мм и образцы типа Б без центрального отверстия для испытаний в условиях вихревой кавитации.

Эксперименты по исследованию влияния эксплуатационных факторов (рабочего давления, противодействия, давления в резервном баке, температуры рабочей жидкости) проводились в конфузорно-диффузорном канале с образцами типа А из Д16АТВ. При исследовании эрозионной стойкости материалов широко применяемых для изготовления элементов гидравлических агрегатов высокого давления, использовались образцы из БРФ10-1, ВЛ15, IX18НЭТ. Толщина образцов была в пределах от 0,7 до 2 мм.

Для исследования закономерностей вихревой кавитации применялась камера с набором съемных цилиндрических насадков. Она также использовалась для проведения комплекса экспериментов, связанных с исследованием влияния режимов дросселирования на

локализацию зон эрозии и интенсивность уноса массы образцов.

Обработка результатов измерений осуществлялась с использованием микроЭВМ Casio - Fx-150 p.

В третьей главе приведены результаты исследования кавитационной эрозии за конфузурно-диффузорными дроссельными каналами в газонасыщенных средах. Рассмотрены особенности кавитационного истечения жидкости через конфузурно-диффузорный дроссельный канал, определен критический перепад давления для указанного канала. Для аналитического расчета критического перепада давления использовано уравнение Торичелли и уравнение расхода. Полученная формула позволяет определить критический перепад давления при известных значениях коэффициентов расхода μ_I , μ_{II} насадка.

$$\Delta \bar{p}_{кр} = \left(\frac{\mu_{II}}{\mu_I} \right)^2,$$

где μ_I - коэффициент расхода насадка в целом,
 μ_{II} - коэффициент расхода входной части насадка.

Коэффициенты расхода для конфузурно-диффузорных насадков были определены экспериментально.

Исследования влияния на эрозию режимов дросселирования и свойств жидкости показали следующее: с повышением рабочего давления интенсивность кавитационной эрозии увеличивается по параболической зависимости, а угол наклона кривой уноса массы существенно зависит от прочностных свойств материала. Путем варьирования абсолютного давления в резервном баке стенда установлена зависимость уноса массы от давления наддува и давления вакуума. (Рис. 1).

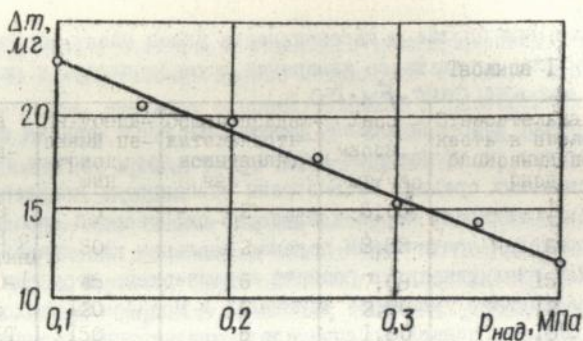
Для перерасчета скорости весовых потерь при увеличении давлении питания от исходного к более высокому предложена зависимость

$$\Delta m_2 = \Delta m_1 \left(\rho_2 / \rho_1 \right)^n,$$

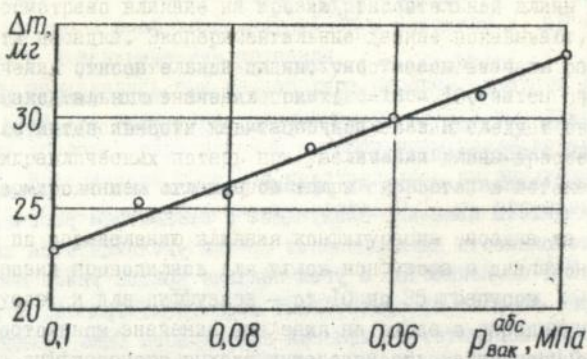
где ρ_1 и ρ_2 - исходное и соответственно повышенное давление питания; Δm_1 и Δm_2 - исходные и расчетные потери массы; n - показатель степени (для Д16АТВ $n = 2,0$; IX18NТ $n = 1,4$; ВТ15 $n = 1,89$, БРО10-1 $n = 2,5$).

Увеличение наддува бага в диапазоне давления от 0,2 до 0,6 МПа приводит к уменьшению уноса массы образца в соответствии с зависимостью $\Delta m_2 = \Delta m_1 \left(\rho'_{над} / \rho''_{над} \right)^n$.

Вакуумирование бака от 0,1 до 0,05 МПа приводит к увели-



а) при надуве гидробака



б) при вакуумировании гидробака

Рис.1. Зависимость уноса массы образцов из сплава Д16АТ7

от давления насыщения жидкости АМГ-10 воздухом

при $P_{вх} = 15 \text{ МПа}$, $\Delta \bar{P} = 0,93$, $T_{ж} = 323 \text{ К}$,
 $t = 15 \text{ мин}$, конфузурно-диффузорный насадок,
 $\alpha_{ж} = 60^{\circ}$, $\alpha_{д} = 16^{\circ}$

чению уноса масса образца в соответствии с зависимостью

$$\Delta m_2 = \Delta m_1 (\rho'_{\text{вак}} / \rho''_{\text{вак}})^n,$$

где $\rho'_{\text{вак}}$ и $\rho''_{\text{вак}}$ — исходное и пониженное давление; Δm_1 и Δm_2 — унос массы образца соответственно, в исходных условиях и при увеличении вакуумирования; n — показатель степени.

Установлено, что варьирование давления выхода при неизменном давлении на входе в насадок позволяет установить зону максимальной эрозии. Эта зона находится в диапазоне $\bar{p}_{\text{вых}} = 6,6-10\%$.

На практике кавитационная эрозия носит довольно сложный характер и зависит от множества факторов одновременно. К таким факторам можно отнести влияние температуры, вязкости и типа рабочей жидкости, скорости и угла падения кавитирующего потока на поверхность образца. Анализ влияния на эрозию вязкости различных жидкостей, используемых в системах воздушных судов (ТС-1, АМТ-10) показывает, что интенсивность кавитационной эрозии снижается с ростом вязкости. Это обусловлено увеличением напряжения трения, уменьшением энергии разрушения каверн и скорости охлопывания.

Исследование влияния на процесс кавитационной эрозии времени экспоз. дни позволяет сделать вывод о том, что в послеинкубационном периоде унос массы в функции от времени наработки имеет параболический характер, а затем — линейный. Характер разрушения в этом периоде носит локальный характер и представляет собой отдельные микро и макропадины. Это позволяет сделать вывод о том, что давления, возникающие при охлопывании каверн, превышают пределы прочности и текучести поверхностного слоя металла.

Сравнительные испытания кавитационной стойкости пяти марок сплавов, наиболее часто применяемых в гидромашиностроении (рис. 2) показывают, что нержавеющая сталь 1Х18Н9Т является наиболее стойким материалом в условиях кавитационной эрозии. Стойкость этой стали в шесть раз выше стойкости сплава Д16АТВ, в 1,3 раза выше стойкости титанового сплава ВТ15 и в 4 раза выше стойкости бронзы БРОФ10-1. Сведения о кавитационной стойкости исследуемых материалов приведены в таблице 1. Анодирование поверхности образца из сплава Д16АТВ увеличивает его эрозионностойкость в шесть раз.

Таблица I

№ шп	Марка матери- ала	Инкубаци- онный пе- риод, мин	Общая продол- жительность испытания, час	Унос массы, мг/час	Относительная стой- кость в посленку- бационный пе- риод
1	Д16АТВ	5	2	5,00	1
2	Д16АТВ с покрытием	30	2	3,33	6
3	ЕРОФ10-1	45	6	7,08	15
4	ВТ15	120	6	2,20	12
5	1Х18Н9Т	150	6	1,80	10

В четвертой главе приведены результаты исследований влияния геометрии кавитационных насадков на интенсивность кавитационной эрозии. Рассмотрена влияние на эрозию относительной длины диффузорной части насадка. Экспериментальные данные показывают, что по мере увеличения относительной длины, унос массы вначале растет и достигает максимального значения при $L = 6 - 10$, затем снижается. Снижение интенсивности кавитационной эрозии следует связать с ростом гидравлических потерь при увеличении длины дроссельного канала и формированием отглаженной эюри скоростей в истекающей струе.

Опыты по определению влияния конфигурации насадка на интенсивность эрозии проводились для углов конфузора в диапазоне от 30 до 50 градусов, и для диффузора - от 10 до 35 градусов.

При постоянном значении давления на входе в насадок с увеличением угла диффузорного выхода интенсивность кавитационной эрозии сначала растет, достигает максимума при значении $\alpha_{\text{диф}} = 15-30$ градусов, затем снижается. По мере увеличения угла конфузора унос массы возрастает до максимума, который наблюдается в диапазоне значений $\alpha_{\text{кон}} = 50 - 90$ градусов, затем снижается.

Важными факторами, влияющими на кавитационную эрозию, являются расстояние между образцом и соплом (S), угол установки образца по отношению к оси струи (θ), относительный внутренний диаметр образца (d). Результаты исследований показали, что увеличение этих параметров приводит к росту интенсивности эрозии до максимального значения, затем снижается. При определенных значениях этих параметров наблюдается максимальный унос массы образца. Результаты экспериментальных исследований показывают, что значения вышеуказанных параметров, соответствующих максимальной эрозии, лежат в диапазонах $S = 15...20$ мм, $d = 0,33 - 0,43$, $\theta = 90$ градусов.

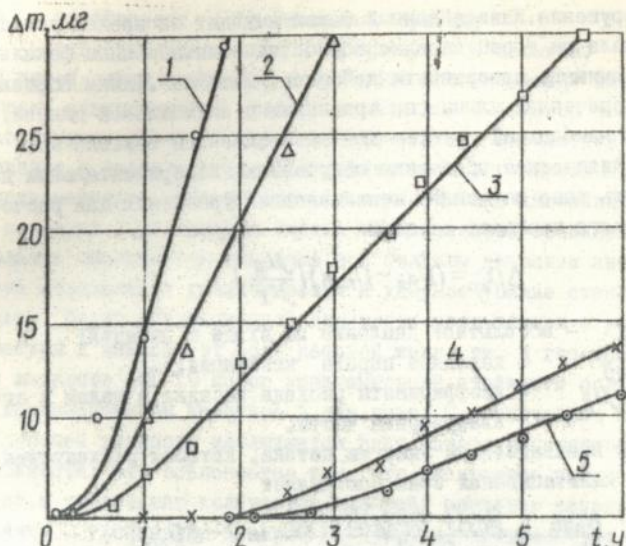


Рис. 2. Зависимость уноса массы образцов различных материалов от времени при $P_{вх} = 15 \text{ МПа}$, $\Delta\bar{p} = 0,93$; $T_{ж} = 323\text{К}$; $t = 15 \text{ мин}$; жидкость АМГ-10; $P_{нас} = 0,5 \text{ МПа}$; конфузорно-диффузорный насадок; $\alpha_{конф.} = 60^\circ$; $\alpha_{диф.} = 16^\circ$.

1 - ДІГАТВ; 2 - ДІГАТВ анодированный; 3 - БРОФ ІО-І;
4 - ВТ-І5; 5 - ІХІВНЭТ

Исследования энергетических характеристик кавитационных насадков позволили установить влияние углов сжатия и расширения потока, а также длины насадков на величину критических параметров истечения жидкости. С увеличением угла конфузора насадка склонность к кавитации возрастает, а при углах 50 – 60 градусов достигаются оптимальные условия. Дальнейшее увеличение угла конфузора приводит к росту гидравлического сопротивления и снижению величины критического противодавления. Оптимальные условия для кавитации создаются при диффузоре длиной в 10–11 диаметров горловины насадка.

Влияние угла диффузора насадка исследовано для диаметров горловины в пределах от 1 до 3 мм. Оптимальные углы диффузора лежат в пределах от 8 до 13 градусов. Укороченные конфузорно-диффузорные насадки отвечают требованиям обширности зоны эрозив-

ного разрушения. Кавитационный факел выходит за предел дроссельного канала на торец насадка. Обработка кавитационным факелом позволяет очищать поверхности до "белого металла". Таким образом насадки укороченной длины (по сравнению с оптимальной длиной) представляют наибольший интерес для кавитационной технологии.

Аналитическое обобщение полученных экспериментальных данных может быть дано на основе использования уравнения для расчета критического перепада давления

$$\Delta p_{кр} = (p_{вх} - p_{кав}) \left(\frac{\mu_{II}}{\mu_I} \right)^2,$$

где $p_{вх}$ - абсолютное давление на входе в насадок;
 $p_{кав}$ - давление порога кавитации;
 μ_I, μ_{II} - коэффициенты расхода насадка в целом и его конфузорной части.

Доля кавитационной энергии потока, которая расходуется на создание кавитационной зоны составляет

$$\frac{N_{кав}}{N_{под}} = \frac{p_{вх}(1 - \Delta \bar{p}_{кр}) Q_{стаб}}{p_{вх} Q_{стаб}} = 1 - \Delta \bar{p}_{кр},$$

где $N_{кав}$ - мощность, затрачиваемая на кавитацию;
 $N_{под}$ - подводимая энергия к потоку при кавитационном истечении;
 $Q_{стаб}$ - стабилизированный кавитационный расход.

Определена рациональная геометрия насадков - генераторов кавитационных струй в устройствах для очистки элементов гидроприводов. Расчеты показывают, что доля кавитационной энергии может составить 43% энергии потока в цилиндрических насадках.

В конфузорно-диффузорных насадках с укороченным диффузором доля кавитационной энергии может составить 62% и, наконец, в насадках с полноравномерным диффузором доля кавитационной энергии может составить 80-89%.

Рассмотрены особенности кавитационного истечения жидкости через цилиндрический дроссельный канал, получена полуэмпирическая формула для определения критического давления за цилиндрическим насадком.

$$p_{кр}^* = \mu_{II} \lambda \bar{L},$$

где $p_{кр}^*$ - критическое давление за насадком;
 μ_{II} - коэффициент расхода входной части цилиндрического насадка;

λ - коэффициент сопротивления трения;

L - относительная длина цилиндрического насадка.

В пятой главе приведены результаты исследования начальной стадии кавитационной стойкости металлов и сплавов в среде газонасыщенных жидкостей. Рассмотрено влияние параметров дрессировки и свойств рабочей жидкости на порог кавитационной стойкости металлов. Установлено, что увеличение давления питания приводит к уменьшению порога кавитационной стойкости. Это явление объясняется тем, что при большом давлении интенсивность воздействия увеличивается и ударное усилие становится больше. Порог кавитационной стойкости уменьшается с ростом температуры и зависит от рода рабочей жидкости. В газонасыщенной жидкости АМГ-10 порог кавитационной стойкости больше, чем в газонасыщенном керосине в два раза. С увеличением вязкости рабочей жидкости наблюдается рост порога кавитационной стойкости; это объясняется тем, что уменьшение вязкости приводит к увеличению количества пузырей, снижению напряжения трения, увеличению энергии разрушения кавитационных пузырьков. Очевидно, что в более вязкой среде кавитационные пузырьки схлопываются медленнее, что уменьшает давление гидроудара.

Исследование влияния содержания газа в жидкости дает вывод о том, что наддув гидробака газом приводит к увеличению порога кавитационной стойкости. Явление можно объяснить следующим образом: увеличение давления наддува гидробака приводит к увеличению содержания газа в гидрожидкости, увеличение содержания газа приводит к увеличению размеров кавитационных пузырьков в результате повышенной дозы выделяющегося газа; пузырьки с большим содержанием газа схлопываются менее интенсивно, что приводит к уменьшению давления гидравлических ударов. Уменьшение давления гидроударов приводит к увеличению порога кавитационной стойкости. При вакуумировании гидробака порог кавитационной стойкости уменьшается. Это объясняется тем, что вакуумирование гидробака сопровождается уменьшением содержания газа в гидрожидкости, что в свою очередь приводит к образованию пузырьков с меньшим содержанием воздуха. В результате пузырьки при схлопывании создают более интенсивные импульсы давления, которые и вызывают большой износ материала и соответственно уменьшают порог кавитационной стойкости.

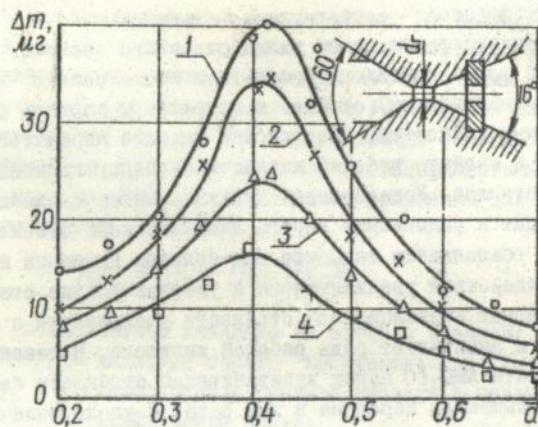


Рис. 3.

Зависимость уноса массы от относительного диаметра образца ДІ6АТВ. Жидкость АМГ-10, $P_{вх} = 15$ МПа, $\Delta \bar{P} = 0,93$, $T_{ж} = 323$ К, $t = 15$ мин, $dr = 1,5$ мм, конфузorno-диффузорный насадок.

- 1 - $P_{нас} = 0,2$ МПа; 2 - $P_{нас} = 0,4$ МПа;
- 3 - $P_{нас} = 0,5$ МПа; 4 - $P_{нас} = 0,6$ МПа

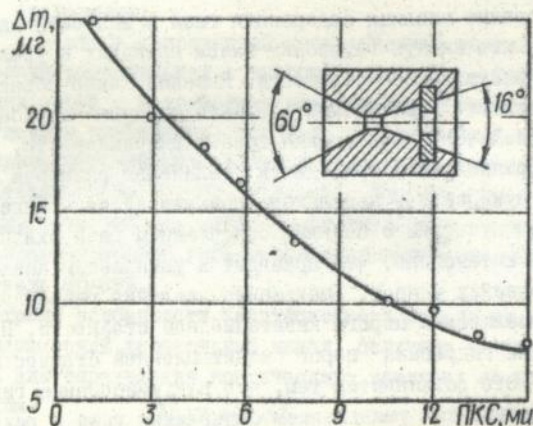


Рис. 4.

Зависимость уноса массы образцов из сплава ДІ6АТВ от порога кавитационной стойкости. Жидкость АМГ-10; $P_{вх} = 15$ МПа; $P_{нас} = 0,3$ МПа; $T_{ж} = 323$ К, $\Delta \bar{P} = 0,93$; конфузorno-диффузорный насадок с образцом типа А

Исследование влияния свойств материала на порог кавитационной стойкости. Установлено, что процесс кавитационной эрозии во времени можно разделить на три стадии: инкубационный период (I), период ускорения (II) и период стационарного состояния (III). В инкубационном периоде (I) при воздействии ударов жидкости унос массы не наблюдается. Материал в этом периоде подвергается пластической деформации. На этой стадии унос материала не заметен. На стадии (II) исходный материал удаляется за счет "выпадения" увеличенных выступов на поверхности и кривая уноса массы нарастает. На стадии (III) сама скорость весовых потерь стабилизируется на постоянном уровне.

Скорость весовых потерь соответствует тангенсу угла наклона кривой уноса массы и определяется по формуле

$$СВП = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta m}{\Delta t},$$

где Δt — рассматриваемый малый промежуток времени;

Δm — унос массы в промежуток времени Δt ;

$\operatorname{tg} \alpha$ — тангенс угла наклона касательной и кривой уноса массы.

Определена математическая модель кавитационной эрозии, которая основана на установлении связи порога кавитационной стойкости со скоростью весовых потерь. Для сравнения были проведены испытания при постоянном давлении входа и изменяющемся значении давления выхода в диапазоне чисел кавитации от 0,42 до 0,76, которые определялись по формуле

$$K = \frac{\Delta p}{p_{вх}} = \frac{p_{вх} - p_{вых}}{p_{вх}},$$

где $p_{вх}$, $p_{вых}$ соответственно являются давлением на входе и на выходе из кавитационного устройства.

Исследование влияния числа кавитации K на порог кавитационной стойкости (ПКС) производилось при фиксированной длительности экспозиции 10 мин. в диапазоне чисел от $K = 0,42$ до $K = 0,76$. Из рассмотрения экспериментальных данных по профилю кривой эмпирическим путем находим формулу: ПКС = $A \ln B \cdot K$, где A, B — скалярные коэффициенты. Исследование зависимости скорости весовых потерь (СВП) от числа кавитации производилось при одинаковом времени экспозиции и определялось по формуле $СВП = f(K)$

Искомую зависимость можно представить как экспоненциальную зависимость вида $СВП = Ae^{Bk}$.

Для определения связи между СВП и ПКС производилась корреляция между этими двумя исходными параметрами. Имея одинаковые числа кавитации, зависимость можно представить в виде:

$$СВП = A \ln B \cdot (ПКС).$$

где А, В – коэффициенты учитывающие свойства материала определялись эмпирическим путем, а именно: для металлов

ДІ6АТБ А = 1,026; В = 0,936; ІХІ8Н9Т А = 0,963; В = 0,718;

ВТ15 А = 1,007; В = 0,819; БРОФІО-І А = 1,052; В = 0,987;

СВП – скорость весовых потерь, мг/с; ПКС – порог кавитационной стойкости; с; \ln – логарифм натуральный.

Предложенный метод позволяет сократить длительность эрозионных испытаний в 5 – 6 раз.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено влияние условий дросселирования газонасыщенной жидкости АМГ-10 на кавитационную стойкость конструктивных элементов гидроагрегатов, изготовленных из сплавов ДІ6АТБ, ВТ15, ІХІ8Н9Т, БРОФІО-І, что позволяет обосновать выбор типа металла и рабочих режимов функционирования гидроприводов при их конструировании и доводке.

Нержавеющая сталь ІХІ8Н9Т является наиболее стойким материалом к кавитационной эрозии. Порог её кавитационной стойкости в шесть раз выше, чем у сплава ДІ6 АТБ, в 1,5 раза выше, чем у титанового сплава ВТ15, и в 4 раза выше, чем у бронзы БРОФІО-І. Анодирование поверхности сплава ДІ6АТБ увеличивает порог кавитационной стойкости в 3 раза.

Протяженность зоны эрозии зависит от типа насадка и режима дросселирования. Положение максимума эрозионного разрушения за насадками зависит от протигдавления и расстояния от образца до насадка. Скорость эрозии многократно возрастает при увеличении давления питания, уменьшении вязкости рабочей жидкости, а также при вакуумировании наджидкостного пространства резервного бака гидросистемы. Наддув резервного бака гидросистемы интенсивность эрозии снижает. Предложены эмпирические зависимости для перерасчета скорости весовых потерь (СВП) в зависимости от давления питания и газосодержания рабочей жидкости гидросистемы.

2. Обоснована возможность 5-6 кратного ускорения эрозионных испытаний элементов гидроприводов на основе установленной

зависимости между скоростью весовых потерь (СВП) и порогом кавитационной стойкости (ПКС) металлов.

Зависимость для расчёта СВП по значениям ПКС имеет вид:

$$\text{СВП} = A \ln B \cdot (\text{ПКС}),$$

где СВП – скорость весовых потерь, мг/с; ПКС – порог кавитационной стойкости, с; А – опытный коэффициент, мг/с;

В – опытный коэффициент, 1/с.

3. Полученные результаты исследований позволяют формулировать основные принципы проектирования и разработки новых типов функциональных кавитационных устройств типа устройства для очистки гидроагрегатов от притирочных паст. Метод кавитационной технологической обработки состоит в том, что на удаляемые механические частицы нужно воздействовать факелом кавитационной струи, генерируемой при кавитационном истечении.

На основании полученных результатов о связи интенсивности эрозии с геометрией насадков и гидравлических параметров потоков разработаны рекомендации для очистки элементов гидроприводов от притирочных паст.

4. Определена рациональная геометрия насадков-генераторов кавитационных струй в устройствах для очистки элементов гидроприводов.

В цилиндрических кавитационных насадках доля кавитационной энергии может составить 43% энергии потока. В конфузорно-диффузорных насадках с укороченным диффузором доля кавитационной энергии может составить 62-89%

Для жесткой обработки очищаемой поверхности за счет эффектов эрозионного воздействия наиболее подходящим типом насадка являются цилиндрический насадок или насадок с укороченным диффузором. Зона максимальной эрозии у этих насадков расположена за пределами дроссельного канала на расстоянии 30-35 диаметров от среза сопла.

5. Полученные данные по локализации зон эрозии позволяют дать рекомендации по ускоренному определению эрозионной стойкости элементов гидропривода для рабочего давления до 20 МПа: зона максимальной эрозии находится

– за цилиндрическими отверстиями на расстоянии 30-35 диаметров дроссельного канала от среза насадка. Диапазон давлений выхода из дроссельного канала $\bar{p}_{\text{вых}} = 17 \dots 23\%$; для диаметров дроссельного канала $d_r = 1,4 \dots 2,4$ мм; при относительной дли-

не насадка $\bar{L} = 2,5 \dots 3,0$;

- за конфузорно-диффузорными насадками на расстоянии 15... 20 диаметров горловины дроссельного канала от среза насадка до образца; диапазон давлений выхода из дроссельного канала $\bar{P}_{\text{вых}} = 6,6 \dots 10\%$, при угле раскрытия конфузора, равном 50... 90 градусов; при угле раскрытия диффузора, равном 9... 30 градусов;

- в конфузорно-диффузорных насадках с образцом, установленным в диффузоре; на расстоянии от горловины до образца, равном $\bar{S} = 20$; угол раскрытия конфузора - 60 градусов; угол раскрытия диффузора - 16 градусов; давление выхода из дроссельного канала $\bar{P}_{\text{вых}} = 5 \dots 12\%$; диаметр горловины $d_r = 1,5$ мм; диаметр отверстия образца типа А $d_{\text{обр}} = 0,33 \dots 0,43$.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. П. Андзембе, В.П. Нетреба. Параметры кавитационных устройств для эрозийных испытаний металлов // Проектирование, производство и эксплуатация систем гидропневмопривода, гидропневмоавтоматики, гидропневмомашин и их компонентов.- Киев, КИИГА.- 1991.- 1. - С. 18-19.

2. П. Андзембе. Математическая модель кавитационного износа // Проектирование, производство и эксплуатация систем гидропневмопривода, гидропневмоавтоматики, гидропневмомашин и их компонентов.- Киев: КИИГА.- 1992.- 6.- С. 6-8.

3. М.М. Глазков, П. Андзембе. Эрозийные разрушения деталей гидросистем ВС // Проблемы динамики пневмогидравлических и топливных систем летательных аппаратов.- Куйбышев, 1990.- С. 114-115.

Подписано в печать 23.06.93. Формат 60x84/16. Бумага типографская.
Офсетная печать Усл.кр.-отг. 6. Усл.печ.л. I, I6. Уч.-изд.л. I, 25.
Тираж 100 экз. Заказ № 153-I. Цена . Изд. № 384/III.

Издательство КНИГА.

252058. Киев-58, проспект Космонавта Комарова, I.

279254

AB 27.798