

ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИИ НА СМАЗЫВАЮЩИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛЬНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ ГИДРОСИСТЕМ, СОДЕРЖАЩИХ МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ

Башта Е.Т., к.т.н., профессор

Джурик Е.В., доцент

Романенко В.Г., к.т.н., доцент

Башта А.В., к.т.н., доцент

Национальный авиационный университет

Тел.: (044)406-72-65

Постановка задачи. Известно, что в гидросистемах современных самолетов, оснащенных большим количеством сложных гидроагрегатов и работающих при высоких перепадах давления имеются многочисленные источники возбуждения кавитации, процесс кавитации в которых является побочным фактором их нормального функционирования. Поэтому вопрос о влиянии кавитации на основные эксплуатационные свойства рабочих жидкостей гидросистем является актуальным. Нашими предыдущими исследованиями было установлено влияние кавитации на кислотность и смазывающие свойства чистых рабочих жидкостей [1, 2], а также на дисперсный состав загрязнителя в жидкости [3].

Формулирование целей статьи. Целью настоящих исследований является изучение влияния кавитации на смазочные свойства искусственно загрязненных рабочих жидкостей гидросистем.

Основная часть. Испытания были проведены на минеральных и синтетических жидкостях гидросистем. В качестве минеральной жидкости мы использовали жидкость АМГ-10, представляющую собой нефтяной погон, загущенный специальным высокомолекулярным полимером.

К недостаткам подобной загущенной жидкости относится подверженность полимерной загущающей присадки механической и термической деструкции в эксплуатации.

В качестве синтетической рабочей жидкости мы использовали жидкость 7-50С-3, представляющую собой смесь полисилоксанов и органического диэфира с добавлением противоизносной присадки и ингибиторов окисления. Высокая прочность связи кремния с кислородом обуславливает термическую и механическую стабильность полисилоксанов в эксплуатации. В качестве искусственного загрязнителя в наших опытах использовался порошок лесса. Концентрация загрязнителя соответствовала $0,02 \text{ мг/см}^3$. Первоначальный размер частиц загрязнителя равнялся 10-15 мкм. После 5000 проходов жидкости через насадок в кавитационном режиме при $P_{\text{вх}}=10 \text{ МПа}$ и $P_{\text{вых}}=0, 5 \text{ МПа}$ размеры частиц загрязнителя не превышали 3 мкм, причем основную массу составляли частички с характерными размерами, равными или меньшими одного микрона. [3]

Испытания загрязненных жидкостей проводились на машине трения в условиях трения качения со скольжением. Испытательный узел представлял собой два приводных извне цилиндрических ролика, вращение которых происходило в одну сторону, но с разной скоростью, вследствие чего появлялось трение скольжения при обкатывании роликами друг друга. При этих испытаниях измерялся момент трения опытной пары при различных температурах жидкости в диапазоне от 273°К до 393°К. Осевая нагрузка при этом равнялась $P_{oc}=500Н$.

По полученным данным строились зависимости измерения момента трения пары от температуры жидкости. Испытания проводились на жидкостях АМГ-10 и 7-50С-3, прошедших предварительную подготовку: жидкость в состоянии поставки загрязнялась лессовым загрязнителем, после чего в течение определенного времени подвергалась кавитационному воздействию.

В качестве искусственного загрязнителя в наших опытах использовался порошок лесса. Концентрация загрязнителя соответствовала 0,02 мг/см³. Первоначальный размер частиц загрязнителя равнялся 10-15мкм. После 5000 проходов жидкости через насадок в кавитационном режиме при $P_{вх}=10МПа$ и $P_{вых}=0,5МПа$ размеры частиц загрязнителя не превышали 3 мкм, причем основную массу составляли частички с характерными размерами, равными или меньшими одного микрона. [3]

Для сравнения испытания также были проведены на жидкостях в состояниях поставки и жидкостях, взятых из состояния поставки, но подвергшихся кавитационному воздействию.

Жидкость АМГ-10.

На рис.1 представлен график зависимости изменения момента трения опытных образцов от температуры при трении в жидкости АМГ-10:

- а) в состоянии поставки;
- б) в чистой жидкости АМГ-10, обработанной в кавитационном поле (давление на входе в насадок $P_{вх}=10МПа$ и $P_{вых}=0,5МПа$);
- в) искусственно загрязненной и обработанной в кавитационном поле (развитость кавитации и длительность обработки та же, что и для обработанной кавитацией чистой жидкости).

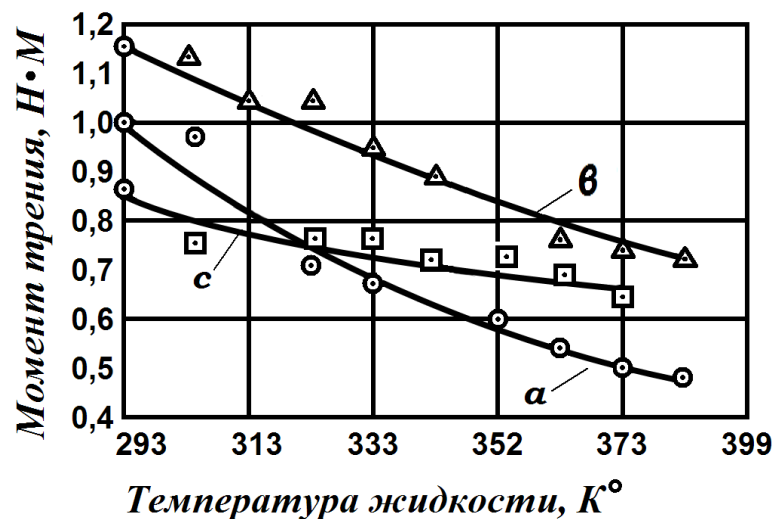


Рис. 1

Из представленного графика следует, что кавитационная обработка чистой, тщательно отфильтрованной жидкости приводит к увеличению момента трения образцов по сравнению с трением жидкости в состоянии поставки. Момент же трения образцов при трении в обработанной кавитацией загрязненной жидкости значительно ниже, чем при трении в обработанной кавитацией чистой жидкости.

Таким образом, анализ данных и предыдущих опытов показал, что кавитация в чистой жидкости АМГ-10 приводит к некоторому ухудшению её смазочных свойств. Последнее обосновывается тем, что при работе этой жидкости в условиях кавитации разрушаются, как было показано ранее [1], длинные молекулярные цепочки полимерного загустителя, что приводит к уменьшению вязкости жидкости, что, в свою очередь, сказывается на смазывающих её свойствах. С другой стороны, смазывающее действие при граничном трении определяется не только вязкостью, а также и поверхностно-активными свойствами масла, в результате действия которых на металлических поверхностях образуется граничный слой, с увеличением толщины которого смазывающие свойства улучшаются.

Процесс образования граничного слоя значительно ускоряется при воздействии на молекулы полимера кавитационного поля [2], что компенсирует отрицательное действие на трение потери вязкости. Это обуславливается тем, что в результате разрушения молекулярных цепочек полимера под воздействием кавитации образуются активные молекулы, адсорбируемые на поверхности металла и образующие на них тончайшую смазочную пленку, обладающую высокими антифрикционными свойствами.

Таким образом, на смазочные свойства чистой жидкости АМГ-10 при кавитации взаимодействуют два противоположных по действию фактора с некоторым превалированием отрицательного фактора .

Жидкость 7-50С-3.

На рис.2 представлена зависимость изменения момента трения опытных образцов от температуры при трении в жидкости 7-50С-3:

- а) в состоянии поставки;
 б) в чистой жидкости, обработанной в кавитационном поле $P_{вх} = 10$ МПа; $P_{вых} = 0,5$ МПа; $T = 333^0\text{K}$;
 в) искусственно загрязнённой жидкости (материал загрязнителя лесс: 0.02 мг/см^3 ; размеры частичек 10-15мкм), обработанной в кавитационном поле при $P_{вх} = 10$ МПа и $P_{вых} = 0,5$ МПа, после чего размеры частиц не превышали 3 мкм.

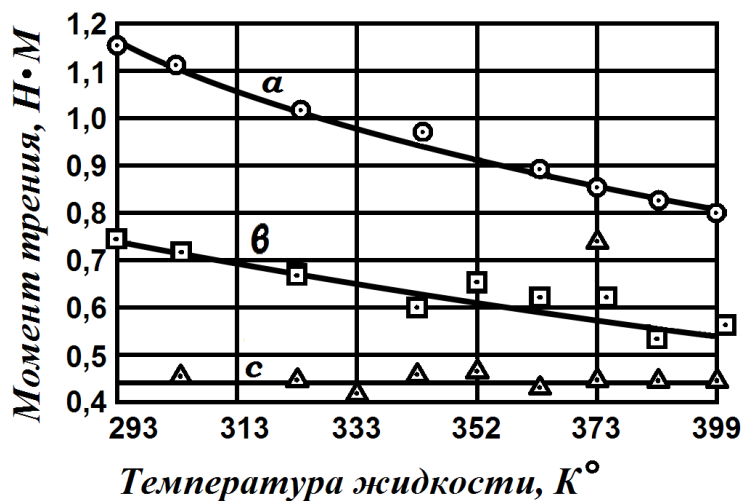


Рис. 2

Время обработки жидкости в обоих случаях соответствует 8800 проходкам жидкости через насадок.

Анализ приведенных графиков показывает, что крутящий момент при испытаниях на загрязнённой жидкости, подвергнутой кавитационной обработке, значительно ниже, чем момент для жидкости в состоянии поставки (на 60% при температуре 333^0K). Кроме того, в случае загрязнённой жидкости момент трения практически не зависит от изменения температуры.

Положительное влияние кавитации на смазочные свойства жидкости 7-50С-3 обусловлено, что кавитация ускоряет и углубляет процесс окисления этой жидкости. [2] В результате же окисления увеличивается количество веществ с поверхностно-активными свойствами и, соответственно, улучшаются смазочные свойства жидкости.

Дополнительно нами были проведены испытания силы трения на натурном (промышленном) образце золотника. Диаметр плунжера $d=11$ мм, радиальный зазор между плунжером и гильзой $h=0,008$ мм. Рабочая жидкость АМГ-10; $T=293^0\text{K}$; время выдержки плунжерной пары под давлением $t=120$ сек.

Испытания проведены при давлениях от 2 до 16 МПа с интервалом в 2 МПа. При этих испытаниях измерялась сила страгивания плунжера золотника, находящегося под давлением жидкости.

На рис.3 представлены результаты испытаний на жидкости АМГ-10, которые показывают, что кавитационная обработка чистой (в состоянии поставки) жидкости приводит и в этом случае к увеличению усилия страгивания золотника (кривая а) по сравнению с усилием страгивания при работе на чистой необработанной кавитацией жидкости (кривая с). Кавитационная же обработка загрязнённой механическими примесями жидкости (кривая в) приводит к некоторому снижению отрицательного влияния кавитации на смазывающие свойства.

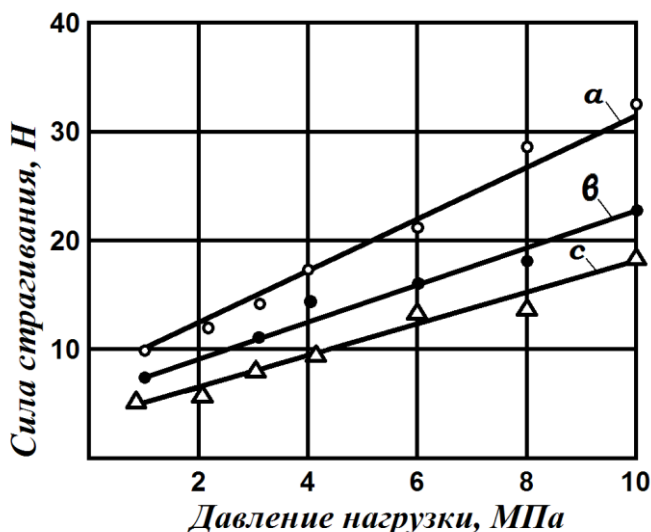


Рис. 3

Таким образом, наши эксперименты показали, что кавитация оказывает положительное влияние на смазывающие качества обеих рабочих жидкостей, содержащих механические примеси.

Последнее, в основном, обусловлено измельчением в кавитационном поле частиц загрязнителя, которые затем адсорбируют на себе полярно-активные продукты окисления жидкости и образуют сложные агрегатные комплексы, в сердцевине которых находятся твёрдые частицы, покрытые обволакивающей их многослойной коллоидной плёнкой.

Эти стабилизированные в жидкостной фазе комплексы изолируют поверхности трения, а также как бы являются антифрикционной присадкой жидкости.

Наши эксперименты и наблюдения других авторов показали, что чем мельче частицы примесей (меньше $3\text{--}5\text{ мкм}$), тем более высокой удельной поверхностью они обладают и, соответственно, тем больше адсорбируют на себе продуктов окисления, и улучшают антифрикционные свойства такой жидкости.

Положительное влияние та трение мелких частиц загрязнителя объясняется также тем, что они нивелируют поверхности скольжения. Кроме того, мелкие частицы, заполняя микровпадины на сопряженных поверхностях, увеличивают площадь фактического контакта и снижают удельные нагрузки в сопряжении, а также интенсифицируют теплопередачу между поверхностями скольжения, снижая эффект микросхватывания.

Мелкие частицы также повышают электропроводимость тонких масляных пленок, вследствие чего снижается электростатическая составляющая износа, которая по данным некоторых авторов может составлять до 40% от общего износа.

При оценке воздействия кавитационной обработки на антифрикционные свойства загрязненного масла следует учесть, что частицы загрязнителя подвергаются в кавитационном поле не только измельчению, а также приобретают, благодаря снятию с их поверхности острых выступов, некоторую округлость, способствующую перекатыванию. Справедливость последнего предположения о снятии острых выступов подтверждается практикой применения кавитации для тонкой очистки прецизионных деталей от заусенцев, а также для полирования поверхностей скольжения гидроагрегатов, при котором с обрабатываемой поверхности снимаются, как показали опыты, в первую очередь острые микровыступы.

В итоге в результате измельчения частиц и приобретения ими некоторой округлости разделяемые жидкостью металлические поверхности трения как бы перекатываются на разделяющих их твердых частицах загрязнителя.

Выводы. Результаты наших экспериментальных исследований, а также работы других авторов [4, 5] позволяют сделать вывод, что с целью снижения трения классическая схема образования полимолекулярных граничных слоев должна быть дополнена введением в нее дисперсной фазы – механических примесей сложной структуры, обеспечивающих дискретное разделение поверхностей и определяющих, в значительной степени, антифрикционные свойства узла трения.

Список литературы

1. *Баишта Е.Т.* Изменение смазывающих свойств рабочих жидкостей при кавитации. Сб. «Вопросы авиационной химмотологии»
2. *Баишта Е.Т., Джурик Е.В., Бедный Н.С.* Влияние кавитации на кислотность рабочих жидкостей гидросистем. Матеріали II МНТК «Проблеми хімотології» – Київ: НАУ, 2008. – с.212-217.
3. *Баишта Е.Т.* Измельчение твердых примесей рабочих жидкостей авиационных гидросистем при кавитации. Сб. тезисов докладов 16 Всесоюзного научно-технического совещания по гидравлической автоматике. – Киев, КИИГА, 1983, с.21-23.
4. *Снитковский А.В.* Улучшение свойств смазочных масел при применении в системах смазки гидродинамических диспергаторов. – Вестник машиностроения, 1972, № 10, с.20-23.
5. *Корогадский М.В.* Влияние высокодисперсных частиц в масле на приработку пар трения. – «Теория смазочного действия и новые материалы», М., Наука, 1965, с. 198-203.

Cavitations' calculations method of volumetrical pumps of incoming main-line of variable feed, which allows to determine the beginning of cavitation at different work regimes and to optimize geometrical parameters of incoming pipelines, is presented.

По полученным данным строились зависимости измерения момента трения пары от температуры жидкости. Испытания проводились на жидкостях АМГ-10 и 7-50С-3, прошедших предварительную подготовку: жидкость в состоянии поставки загрязнялась лессовым загрязнителем, после чего в течение определенного времени подвергалась кавитационному воздействию.

В качестве искусственного загрязнителя в наших опытах использовался порошок лесса. Концентрация загрязнителя соответствовала 0,02 мг/см³. Первоначальный размер частиц загрязнителя равнялся 10-15мкм. После 5000 проходов жидкости через насадок в кавитационном режиме при $P_{вх}=10\text{МПа}$ и $P_{вых}=0,5\text{МПа}$ размеры частиц загрязнителя не превышали 3мкм, причем основную массу составляли частички с характерными размерами, равными или меньшими одного микрона.

Для сравнения испытания также были проведены на жидкостях в состояниях поставки и жидкостях, взятых из состояния поставки, но подвергшихся кавитационному воздействию.

Эффект измельчения твердых частиц загрязнителя предположительно основан на том, что попадающие в зону захлопывания кавитационного пузырька частицы разрушаются, в основном, под механическим воздействием локальных микрогидро ударов. Кроме этого разрушению частиц могут способствовать тепловой эффект и электрические заряды, возникающие при схлопывании пузырька.

Диаметр плунжера $d=11$ мм, радиальный зазор между плунжером и гильзой $h=0,008$ мм. Рабочая жидкость АМГ-10; $T=293^{\circ}\text{K}$; время выдержки плунжерной пары под давлением $t=120$ сек.

Испытания проведены при давлениях от 2 до 16 МПа с интервалом в 2 МПа. При этих испытаниях измерялась сила страгивания плунжера золотника, находящегося под давлением жидкости.