

А.С. Каверзина, А.В. Минеев**ПРОБЛЕМЫ КАВИТАЦИИ В ГИДРОПРИВОДЕ
САМОХОДНЫХ МАШИН И СПОСОБЫ ЕЕ СНИЖЕНИЯ**

Изложены проблемы кавитации рабочей жидкости в гидравлическом приводе самоходных машин, дана структурная схема влияния кавитации на параметры и характеристики гидропривода. Подробно рассмотрено влияние газовой фазы в рабочей жидкости на работоспособность гидропривода. Приведены способы уменьшения отрицательного влияния кавитации с помощью ряда конструктивных и эксплуатационных факторов.

Ключевые слова: гидравлический привод, газовая фаза, развитие кавитации, рабочая жидкость, насос, ухудшение характеристик масла.

Кавитация довольно широко распространенное явление и проявляется в гидротурбинах, гребных винтах и корпусах быстроходных судов, торпедах, ракетах и других аппаратах движущихся с большой скоростью в жидкой или газообразной среде. В этой области техники явление кавитации достаточно изучено, разработаны способы снижения ее интенсивности.

Известно так же, что кавитация проявляется и в гидроприводе машин различного технологического назначения. Однако применительно к машиностроительному гидравлическому приводу механизм кавитации, зоны ее проявления, факторы, влияющие на интенсивность кавитации, и методы борьбы с ней изучены еще недостаточно. Особенно следует помнить, что кавитация может привести к разрушению гидрооборудования и полной потере работоспособности гидрофицированных машин за короткий промежуток времени, в ряде случаев за 2–3 часа эксплуатации.

В рабочей жидкости гидравлических приводов всегда присутствует так называемая газовая фаза в растворенном и нерастворенном виде. Ее содержание нередко достигает 11% от объема циркулирующей в гидроприво-

де жидкости. Парогазовые пузырьки в диаметре составляют от 0,2 до 0,8 мм и перемешаются вместе с жидкостью по трубопроводам, из гидробака к насосу и далее к гидродвигателям и вновь возвращаются в гидробак. В процессе работы гидропривода пузырьки дробятся на более мелкие и вновь объединяются, достигая предельных размеров выходят на свободную поверхность жидкости в гидробаке. Молекулы воздуха входящие во временное соединение с молекулами жидкости образуют так называемую растворенную составляющую. При выходе из соединения с молекулами жидкости молекулы воздуха коагулируются между собой, образуя вновь пузырьки нерастворенного воздуха вышеуказанных размеров. При работе гидропривода процесс перехода из растворенной фазы в нерастворенную и обратно происходит каждую секунду.

Экспериментально установлено, что доля растворенного воздуха (газов) несколько раз меньше, чем доля нерастворенного воздуха и составляет 0,6–1,5% объема жидкости [1], в то время как общий объем газов, как указывалось выше, достигает 11%. Тем не менее, растворенная фаза оказывает на параметры и характеристики гидропривода самое отрицательное влияние.

Проникает парогазовая фаза в рабочую жидкость несколькими путями. Во-первых, даже длительно (более 48 часов) отстаивающаяся жидкость имеет не менее 2% парогазовых пузырьков, а при включении гидропривода в работу выделившийся в тупиковых зонах трубопроводов и гидрооборудования воздух вновь перемешивается с жидкостью и за несколько секунд увеличивает его процентное содержание в три-четыре раза. Во-вторых, при низких температурах эксплуатации машин во всасывающем трубопроводе в подвижных соединениях из-за усадки материалов, релаксации напряжений и вакуума во всасывающей камере насосов воздух из атмосферы подсасывается в гидросистему и смешивается с рабочей жидкостью. В третьих, влага, проникающая в рабочую жидкость через сапун, уплотнения штоков, валов насосов и гидромоторов при повыше-

нии температуры испаряется и увеличивает процентное содержание парогазовой составляющие. В четвертых, через воронку, образующуюся при неполном заполнении гидробака и низкой температуре жидкости во всасывающую гидролинию может проникать достаточно большое количество воздуха. Отсутствие клапанов выпуска воздуха в современных гидрофицированных самоходных машинах усугубляет рассматриваемую проблему и приводит к кавитации, а в конечном итоге к снижению работоспособности и эффективности гидропривода.

Наличие газовой фазы в рабочей жидкости оказывает только отрицательное влияние на параметры и характеристики гидропривода. Можно выделить три направления этого влияния на работоспособность и эффективность гидропривода самоходных машин (рис. 1).

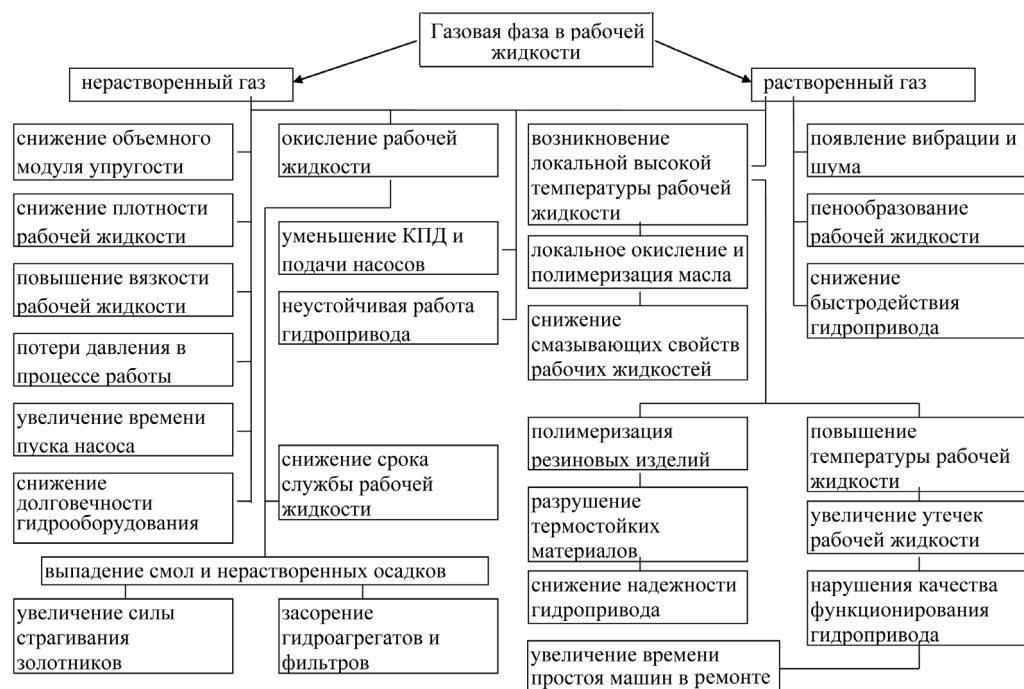


Рис. 1. Влияние газовой фазы в рабочей жидкости на работоспособность гидропривода

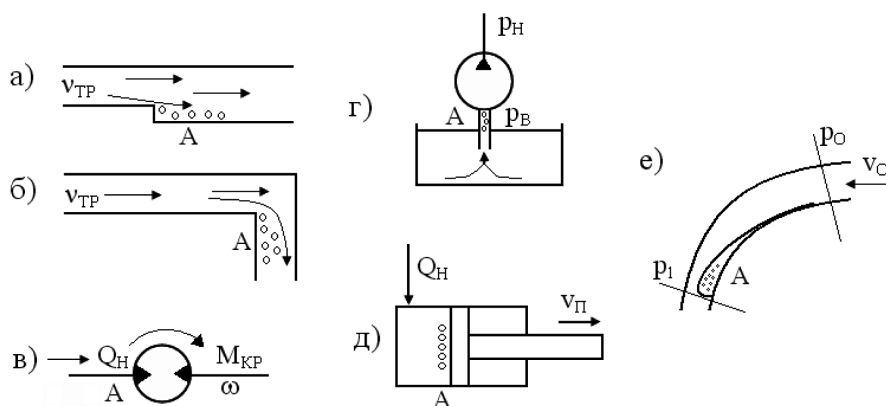


Рис. 2. Наиболее характерные зоны возникновения кавитации в гидроприводе: а) выступ в гидролинии; б) прямое колено; в) гидромотор при попутной нагрузке; г) всасывающая камера насоса; д) гидроцилиндр при попутной нагрузке; е) крутой изгиб трубопровода

Во-первых, газовая фаза ухудшает динамические характеристики гидропривода, приводит к снижению усилий на гидродвигателях и, как следствие, к уменьшению производительности машины, а также снижению точности позиционирования груза. Во-вторых, газовая фаза уменьшает защитные свойства рабочих жидкостей, что повышает износ поверхностей трения деталей гидрооборудования, уменьшаются мощность привода насоса и усилия на гидродвигателях для выполнения технологических операций. В-третьих, в зоне схлопывания пузырьков повышается температура жидкости, что увеличивает внутренние и наружные утечки, снижает объемный КПД и полезное усилие на гидродвигателях. Повышение температуры также отрицательно влияет на долговечность деталей из эластомеров (уплотнители и т.д.).

Кроме того, газовая фаза в жидкости при высоких давлениях вызывает так называемый дизельэффект, который сопровождается мгновенным ростом температур в микрообъемах до нескольких сот градусов, что разрушает жидкость на молекулярном уровне, вызывает ее полимеризацию.

Присутствие газовой фазы в рабочей жидкости приводит к снижению

объемного модуля упругости, что увеличивает сжимаемость жидкости. Это отрицательно влияет на динамику гидропривода, вызывает колебания рабочего оборудования грузоподъемных машин, увеличивает нагрузки на металлоконструкцию, снижает точность позиционирования груза. Происходит также снижение давления в напорных линиях гидродвигателей, которые не развивают требуемых усилий на валу гидромоторов и штоках гидроцилиндров. Потери давления в напорной гидролинии снижают грузоподъемность (тяговое усилие на крюке или усилие резания грунта и т.д.), увеличивают время цикла (или скорость перемещения машины), проходимость машин по бездорожью, а в конечном итоге уменьшают производительность гидрофицированных машин.

На рис. 2 представлены наиболее характерные зоны выделения парогазовых пузырьков в гидроприводе.

Уменьшить кавитационные явления можно за счет конструктивных и эксплуатационных факторов [3].

1. Размещение гидробака выше всасывающей камеры насоса. Этот способ позволяет создать перед насосом давление выше атмосферного на величину $\rho \cdot g \cdot h$, где h – высота столба

жидкости над всасывающей камерой; g – ускорение свободного падения; ρ – плотность жидкости. Однако следует помнить, что размещать гидробак на величину выше 1,0 м над всасывающей камерой нецелесообразно. Так как после распределителя на эту же высоту приходится поднимать поток жидкости в гидробак, что увеличивает давление в сливной линии, снижает полезное усилие на гидродвигателях и ведет к перерасходу топлива двигателя внутреннего сгорания. В конечном итоге снижается общий КПД гидропривода.

2. Увеличение диаметра всасывающего трубопровода позволяет несколько уменьшить кавитацию во всасывающей камере за счет снижения потерь на трение жидкости. Расчеты и опыт эксплуатации гидрофицированных машин показывают, что кардинально повысить давление во всасывающей камере за счет увеличения диаметра трубопровода не удастся, существует предел увеличения диаметра по конструктивным соображениям. Максимальный диаметр всасывающего трубопровода можно определить расчетом, приняв скорость потока жидкости в трубе равной 0,8 м/с.

3. Уменьшение длины всасывающего трубопровода также позволяет уменьшить кавитацию во всасывающей камере насоса за счет снижения путевых потерь в гидролинии. Протяженность всасывающего трубопровода зависит от места и способа крепления насоса к гидродвигателю внутреннего сгорания и месторасположения гидробака на машине. Поэтому при проектировании гидропривода следует не стадии компоновки гидрооборудования учитывать требования по минимальной длине трубопроводов.

4. Снижение местных сопротивлений в гидролиниях за счет оптимизации разводки трубопроводов, их формы и разветвленности дает воз-

можность уменьшить кавитационные явления в гидросистеме. Трубопроводы не должны иметь прямых колен и крутых изгибов, где происходит завихрение потока жидкости и интенсивное выделение газовой фазы, а затем и кавитация в гидроприводе.

5. Снижение скорости гидродвигателей (гидроцилиндров и гидромоторов) при попутной нагрузке существенно уменьшает выделение газовой фазы. Поэтому при опускании рабочего оборудования в сливной гидролинии гидродвигателей должны быть предусмотрены дроссели с обратными клапанами, которые за счет гидравлического сопротивления в сливной линии снижают скорость его опускания или скорость движения колесного транспортного средства под уклон.

6. Увеличение площади сечения и изменение формы патрубка всасывающего трубопровода существенно снижает кавитационные явления в гидронасосах, причем без изменения конструкции гидропривода. Например, за счет применения скошенного под углом 30° входного отверстия в 1,4–1,6 раза увеличивается его площадь, исключаются вихревые явления и выделение газовой фазы на кромке отверстия. А применение патрубка коноидальной формы практически полностью исключает кавитационные явления в самой опасной зоне гидропривода – всасывающей камере насоса. Такое преимущество дает использование кинетической энергии потока жидкости во входном патрубке насоса.

7. Повышение давления на свободной поверхности гидробаков позволяет увеличить давление во всасывающей камере насоса и практически исключает кавитацию во всасывающей гидролинии. Этот способ уже внедрен на серийных экскаваторах ЭО-4332А. Расчеты и экспериментальные исследования показывают, что давление воздуха на свободной поверхности

жидкости в гидробаке в 1,5 атм. исключает кавитационные явления при температуре -12 °С. Однако для создания давления воздуха в гидробаке на самоходной машине необходимо устанавливать компрессор с системой управления потоком газа.

8. Применение эжекции во всасывающем трубопроводе дает возможность за счет кинетической энергии струи жидкости исключить кавитацию во входной камере насоса. Вспомогательный поток жидкости подводимый к всасывающей кромке трубопровода в 5–10 раз меньше подачи основного насоса позволяет создать во входной камере избыточное давление и улучшить всасывающую способность насоса.

9. Оптимизация вязкости (температуры) рабочей жидкости кардинально решает кавитационные проблемы не только во всасывающей камере насоса, но и во всех опасных с точки зрения кавитации зонах. Уменьшение вязкости снижает гидравлические сопро-

тивления (местные и путевые) и, как следствие, потери давления в гидросистеме. Кроме того, снижается интенсивность выделения газовой фазы в переходных зонах гидросистемы. Оптимизация вязкости позволяет увеличить и КПД гидропривода в целом [2].

10. Дегазация рабочей жидкости также кардинально уменьшает кавитационные явления в гидроприводе. Дегазированная жидкость позволяет решить и другие проблемы, например, повышает точность позиционирования гидродвигателей. Это дает возможность снизить динамические нагрузки при подъеме-опускании груза, повороте платформы экскаваторов, кранов и т.д.

Таким образом, проектируя современные гидроприводы машин с учетом всех указанных выше рекомендаций можно существенно повысить их работоспособность и эффективность, что, в конечном итоге, скажется на их конкурентоспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скрицкий В.Я., Рокшевский В.А. Эксплуатация промышленных гидроприводов. – М.: Машиностроение, 1984. – 176 с.

2. Каверзин С.В., Лебедев В.П., Сорокин Е.А. Обеспечение работоспособности гидравлического привода при низких температурах. Монография. – Красноярск: Офсет, 1998. – 240 с.

3. Каверзина А.С. Повышение работоспособности гидравлического привода улучшением всасывающей способности насосов. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. – Красноярск, 2004. – 130 с. **ПЧАЗ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каверзина Анна Сергеевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: kas_05@mail.ru,
Минеев Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой, e-mail: mineev_bngs.krsk@mail.ru,
Институт нефти и газа, Сибирский Федеральный Университет.

UDC 621.867: 62-82

THE PROBLEM OF CAVITATION IN THE HYDRAULIC DRIVE SELF-PROPELLED MACHINES AND THE WAYS OF ITS REDUCTION

Kaverina A.S.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: kas_05@mail.ru,
Mineev A.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Chair, e-mail: mineev_bngs.krsk@mail.ru,
¹ Siberian Federal University, Institute of Oil and Gas, Krasnoyarsk, Russia.

The problems of cavitation of the working fluid in a hydraulic drive self-propelled machines, we can see the block diagram of the effects of cavitation on the parameters and characteristics of the hydraulic drive. Details the influence of the gas phase in the working fluid on the performance of the hydraulic drive. There are ways to minimize the adverse effects of cavitation through a number of design and operational factors.

Key words: hydraulic, gas phase, the development of cavitation, fluid pump, the degradation of the oil.

REFERENCES

1. Skritskii V.Ya., Rokshevskii V.A. *Ekspluatatsiya promyshlennykh gidroprivodov* (Operation of industrial hydraulic actuators), Moscow, Mashinostroenie, 1984, 176 p.
2. Kaverzin S.V., Lebedev V.P., Sorokin E.A. *Obespechenie rabotosposobnosti gidravlicheskogo privoda pri nizkikh temperaturakh*. Monografiya (OWorkability of the hydraulic actuator at low temperatures. Monograph), Krasnoyarsk, Ofset, 1998, 240 p.
3. Kaverzina A.S. *Povyshenie rabotosposobnosti gidravlicheskogo privoda uluchsheniem vsasyvayushchei sposobnosti nasosov* (Increase efficiency hydraulic drive improved suction capacity of the pum), Candidate's thesis, Krasnoyarsk, 2004, 130 p.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ГЕОРЕСУРСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА. ВЫПУСК 6

Автомонов Е.Г., Агошков А.И. Беспятов А.Б., Блиновская Я.Ю., Борисов С.Ю., Васьанович О.Ю., Гладырь А.В. Голохваст К.С. Дорошев Ю.С., Дрозд В.А., Зиньков А.В. Зубцова А.С., Иванов М.В., Карабцов А.А., Кириянов А.В., Куприянов А.Н., Лесовская О.В., Лесовский Б.Ф. Лисицкая И.Г., Лихачева В.В., Лушпей В.П., Макаров В.В., Манаков Ю.А., Мирошников В.И., Николайчук Д.Н. Романов В.В., Романова Т.Ю., Романовский Н.П., Селиванова Т.В. Сидорова Н.Г., Соболева Е.Е. Тарасенко И.А., Тарасов В.В., Филонова Е.А., Цуприк В.Г. Чайка В.В., Чернышев В.В.,
Дальневосточный федеральный университет, Институт горного дела ДВО РАН.

Представлены результаты определения затухания (расхождения и поглощения) энергии импульса в массиве горных пород от взрывного источника, исследования частиц из атмосферных взвесей, содержащихся в снеге, собранном в 7 точках в районе Караканского угольного кластера, результаты масс-спектрометрического исследования талой снеговой воды. Рассмотрены особенности химического состава подземных вод в районах ликвидированных угольных шахт Приморья и Сахалина, основные принципы методологического подхода к анализу содержания проблемы определения надежности морских ледостойких оснований, пути экономии смазочных материалов на предприятиях морского транспорта, в судостроительной и судоремонтной промышленности за счет регенерации отработанных смазочных материалов, предложен предпринимательский подход к технологии управления трудовой деятельностью на производстве.

Ключевые слова: микрочастицы, техногенные частицы, кора выветривания, гипергенез, загрязнение, угольный терминал, подземные воды, ликвидированные угольные шахты, энергия волн, показатель затухания, режимы электрических сетей, коэффициент потерь.

PROBLEMS OF GEORESOURCE DEVELOPMENT OF THE FAR EAST. ISSUE 6

Artamonov E.G., Agoshkov A.I. Bespyatov A.B., Blinovskiy Ya.Yu., Borisov S.Y., Vasyanovich O.Yu., Gladyr A.V. Holocoust K.S. Slavyansk Y.S., Drozd V.A., Zenkov A.V. Albania S.A., Ivanov M.V., Karamzov A.A., Kiryanov A.V., Kupriyanov A.N., Lesovsky O.V. Canada B.F. I. G. P. Likhachev V.V., Luspa V.P., Makarov V.V., Manakov A., Miroshnikov V.I. Nikolaichuk D.N. Romanov V.V., Romanova T.Y., Romanovsky N.P., Selivanova T.V., N. Sidorova.G., Soboлева E.E., Tarasenko I.A., Tarasov V.V., Filonov E.A., Tsupryk V.G., Chaika V.V., Chernyshev V.V.,
Far Eastern Federal University, Institute of mining, far East branch Russian Academy of Sciences.

Results of determination of attenuation (divergence and absorption) of energy pulse in the array of rocks from an explosive source, the particle study of atmospheres-tion of sediment collected in the snow collected in 7 locations in the area of the Karakansky coal-th cluster, the results of mass-spectrometric investigation of the melted snow water. Banded version of the chemical composition of groundwater in areas of the liquidated coal mines of Primorye and Sakhalin, the basic principles of the methodological approach to the analysis of the problem of determining the reliability of offshore ice-resistant bases, ways of saving lubricants for the sea transport companies, shipbuilder, Noah and repair industry due to the regeneration of used lubricating materials, proposed entrepreneurial approach to technology management labour protection standards activities in manufacturing.

Key words: magnetic properties, residuum, hypergenic, modes of electrical networks, the loss factor, technique, ground-water, the liquidated mines, pollution of waters, wave energy, the attenuation, dynamic phenomena.