

АКТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПОДВИЖНОГО СТЕНДА ТРЕНАЖЕРА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Магомедова М. А., аспирант; Бочков М. А., студ.; Прошкин В. Н., доц., к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, РФ)

В настоящее время общепризнанно, что безопасность сложной продукции является одним из важнейших факторов неценовой конкуренции и конкурентоспособности продукции, определяющим инвестиционную привлекательность наукоемких изделий, например, таких как комплексные тренажеры транспортных средств (аэрокосмические, наземные, водные и др.).

Комплексные тренажеры являются средствами подготовки операторов транспортных средств, поскольку позволяют осуществлять обучение в штатных, нештатных и экстремальных ситуациях, при которых возникают значительные перегрузки и сложные пространственные перемещения имитируемого объекта [1].

Подвижный стенд (рисунок 1), входящий в состав тренажера содержит верхнюю платформу 1, на которой устанавливается кабина имитируемого транспортного средства.

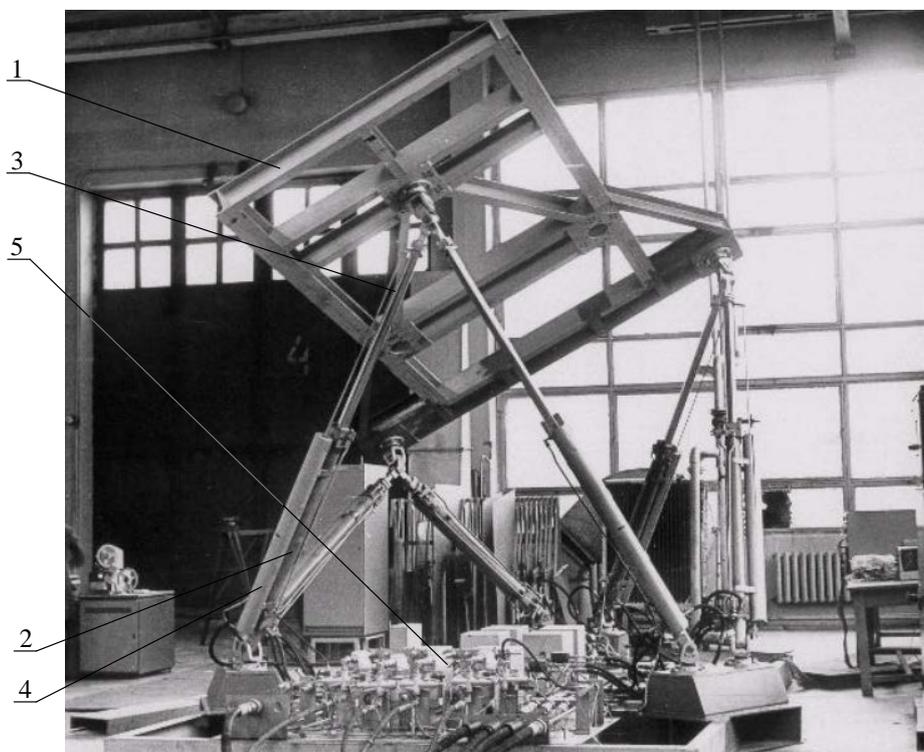


Рисунок 1 – Динамический стенд с шестью степенями свободы

Платформа 1 через шарнирные соединения связана с шестью линейными гидроприводами. В состав каждого привода входят гидравлический цилиндр 2 со штоком 3. Параллельно ходу штока 2 гидроцилиндра устанавливается узел обратной связи 4 (датчик линейных перемещений). В основании подвижного стенда 5 расположено гидравлическое оборудование, связывающее гидроприводы с гидронасосной станцией. В качестве рабочей жидкости в гидравлической системе подвижного стенда используется масло АМГ-10, которое, в соответствии с ГОСТ 12.1.044 имеет следующие особенности:

- используется в гидросистемах авиационной и наземной техники, работающей в интервале температур окружающей среды от -65 до $+75$ °С.
- средневоспламеняемая жидкость с температурой вспышки $+93$ °С;

— по степени воздействия на организм человека относится к 4-му классу опасности в соответствии с ГОСТ 12.1.007;

— предельно допустимая концентрация паров углеводородов масла в воздухе рабочей зоны – 300 мг/м³ в соответствии с ГОСТ 12.1.005.

Основные характеристики подвижного стенда с шестью степенями свободы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики подвижного стенда с шестью степенями свободы

Параметр	Единица измерения	ДС-6-1500
Рабочий ход штока приводного звена	мм	1500
Продольное, поперечное, вертикальное перемещение ($X_{пр.п.}$), ($Z_{поп.п.}$), ($Y_{в.п.}$)	мм	± 750
Угловое перемещение по крену, тангажу, курсу ($\gamma_{кр.п.}$); ($\nu_{т.п.}$); ($\psi_{курс.п.}$)	град	± 32
Линейная скорость по осям $X_{пр.п.}$, $Z_{поп.п.}$, $Y_{в.п.}$	м/с	$\pm 0,7$
Угловая скорость по крену, тангажу, курсу	град/с	± 40
Линейное ускорение по осям $X_{пр.п.}$, $Z_{поп.п.}$, $Y_{в.п.}$	м/с ²	± 5
Угловое ускорение по крену, тангажу, курсу	град/с ²	± 100
Максимальная грузоподъемность динамического стенда	кг	12 000
Рабочее давление в полости гидроцилиндра	МПа	21
Минимальное давление в полости гидроцилиндра	МПа	0,05
Максимальное (пиковое) давление в полости гидроцилиндра	МПа	60
Рабочая жидкость	-	АМГ-10
Допустимый температурный диапазон рабочей жидкости	°С	-65...+75

На возникновение и развитие утечек рабочей жидкости влияет ряд факторов: масштабы аварии (зависят от размеров разрыва: прокола, трещины и т.д.); габаритных размеров гидравлических агрегатов и гидрокоммуникаций; давления в месте утечки; окружающей среды (коррозия, механические воздействия и т.д.); времени обнаружения и ликвидации утечки и т.д.

Иницирующим событием аварии, как правило, является полная или частичная разгерметизация оборудования и трубопроводов, и последующий выброс потенциально опасной жидкости под давлением из гидросистемы. При этом под полным разрушением понимается выброс всей рабочей жидкости, который возможен, при разрыве на полное сечение, подводящих или отводящих трубопроводов. Под частичным разрушением подразумевается образование одиночных капель и свищей с последующим образованием парогазового облака, например, во фланцевых соединениях, сальниковых уплотнениях, сварных швах, уплотнительных элементах и др.

Можно выделить следующие основные причины нарушения герметичности в гидравлической системе, такие как: техногенные, а также вызванные человеческим фактором. Техногенные причины, как правило, приводят к разрушению гидроагрегатов по причине старения металла; возникновению производственного брака, использованию бракованных устройств и механизмов и т.п. Наконец, утечки могут быть результатом грубых ошибок обслуживающего персонала – неаккуратное проведение регламентных и других работ.

Нарушение герметичности в таких системах во время работы может привести к выходу рабочей жидкости под давлением наружу и созданию аварийных ситуаций с тяжелыми экологическими последствиями и огромными материальными и финансовыми потерями (травматизм окружающего персонала, повреждение оборудования, взрыву или вспышечному пожару парогазового облака в зоне разгерметизации). Поэтому необходимы меры для

повышения надежности таких систем, предотвращающих или сводящих к минимуму аварийные ситуации и их последствия.

Масштабы аварии зависят от размеров разрыва (прокола, трещины и т.д.), габаритных размеров гидроагрегатов и гидрокommunikаций, давления в месте утечки, окружающей среды (коррозия, механические воздействия и т.д.), времени обнаружения и ликвидации утечки и т.д.

Известны ряд работ в этой области, в которых предложены различные способы обнаружения утечек рабочей жидкости [2 – 4], имеющих свои преимущества и недостатки. Однако, тем не менее, проблема все еще далека от окончательного решения.

На сегодняшний момент закрепились классификация способов обнаружения утечек рабочей жидкости, которые подразделяются на внешние и внутренние. К внешним относятся системы, детектирующие утечку на основе внешних проявлений, сопровождающие ее возникновение и существование. К ним относятся: внешний осмотр; омыливание фланцевых и других соединений; использование тепловизоров; акустическое зондирование; локация сканирующих волн давления; определение химического состава жидкой или воздушной смеси в контролируемой зоне и т.д. [3, 4].

К внутренним способам относятся использование измерительных преобразователей параметров внутренней среды (температура, давление, расход рабочей жидкости и т.д.).

На рисунке 2 представлена классификация способов по критериям обнаружения утечки рабочей жидкости. Проведенный анализ показал, что большинство проблем по обнаружению утечек решаются в основном для разомкнутых гидросистем (трубопроводный транспорт для перекачки химических и нефтехимических продуктов и т.д.) или полых изделий (гидравлические сосуды различного назначения и т.д.), а для диагностики разветвленно-замкнутых систем (бортовое и наземное гидравлическое оборудование, отопительные и охлаждающие системы и т.д.) технических решений очень мало.



Рисунок 2 – Классификация методов обнаружения утечек

Известно способ для защиты замкнутой гидросистемы от утечек рабочей жидкости [2], с помощью которого ведется непрерывный контроль над разницей показаний расходов рабочей жидкости в гидролиниях нагнетания и слива, расположенных между источником и потребителем гидравлической энергии. Если разница показаний равна нулю, то система находится в безаварийном положении. В случае аварийной обстановки, координаты и величина утечек определяются знаком и амплитудой разностного сигнала.

Названное устройство не способно эффективно работать в гидросистемах, в состав которых входит гидрооборудование с переменными рабочими объемами (сильфоны, гидроаккумуляторы, гидравлические цилиндры и т.д.). В случае отсутствия аварийной обстановки в разностном сигнале с расходомеров будет присутствовать ошибка, связанная с

изменением объема рабочей жидкости. Рассмотренные обстоятельства определяют актуальность решения данной проблемы, а именно, повышение эффективности защиты гидравлической системы подвижного стенда тренажера транспортных средств от утечек потенциально опасных жидких сред. Показателями эффективности должны служить высокая чувствительность, точность и быстродействие определения факта разгерметизации.

На рисунке 3 приведена предлагаемая структурная схема системы контроля герметичности в подвижном стенде тренажера транспортных средств, способная решить указанную проблему.

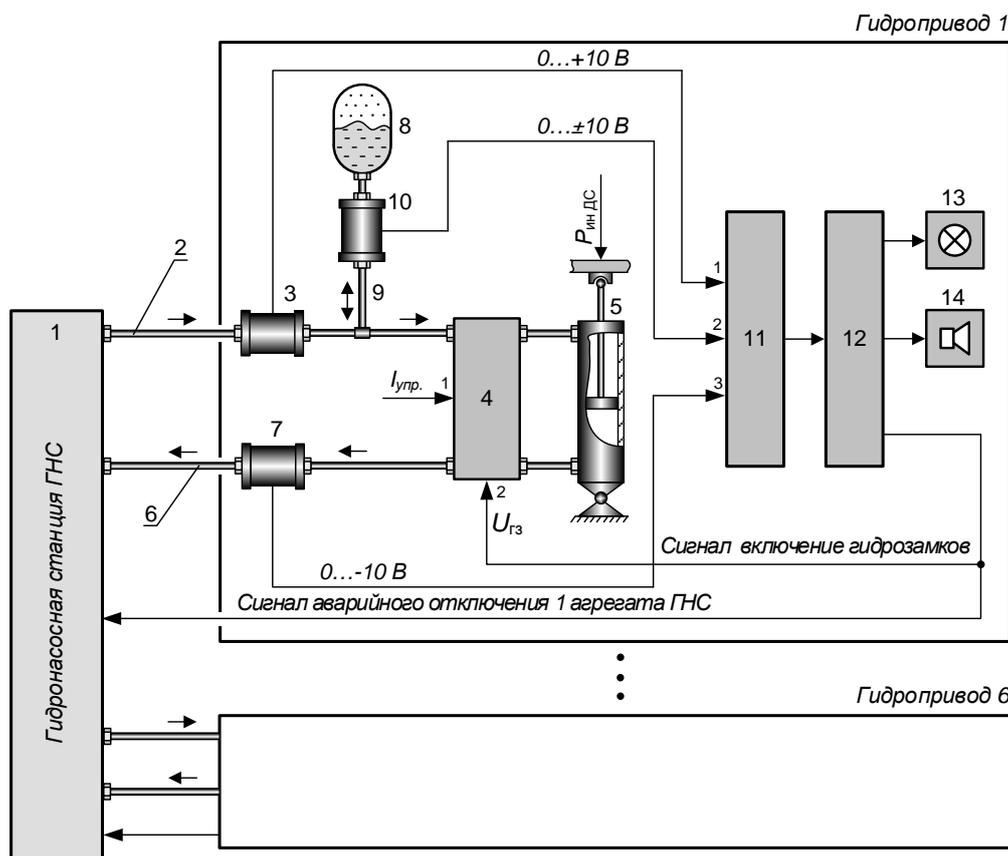


Рисунок 3 – Автоматизированная система контроля герметичности динамического стенда

В состав системы входят: гидронасосная станция 1, служащая для создания необходимого давления и расхода жидкости и подачи ее через гидролинию 2 нагнетания, расходомер 3, агрегат 4 управления (гидросилитель) в рабочие полости гидроцилиндра 5. Отработавшая жидкость по гидролинии 6 слива через расходомер 7 поступает в бак гидронасосной станции 1. В зависимости от параметров электрического сигнала $I_{упр.}$ на первом входе агрегата 4, вырабатываемого имитатором параметров движения транспортного средства происходит распределение рабочей жидкости в ту или иную полость гидравлического цилиндра 5. Если шток цилиндра должен двигаться вверх, то агрегат 4 управления подключает гидролинию 2 нагнетания в нижнюю полость цилиндра, а верхнюю полость соединяет с гидролинией 6 слива. При движении штока цилиндра 5 вниз все должно происходить наоборот. На каждый шток воздействует инерционная нагрузка со стороны подвижного стенда с кабиной тренажера величиной $P_{ин ДС}$. Для стабилизации давления, в гидролинии 2 нагнетания при переходных процессах и знакопеременных движениях штока цилиндра 5, служит гидравлический аккумулятор 8 компенсационной гидролинии 9 с изменяющимся объемом рабочей жидкости, подключенный через расходомер 10 к гидролинии 2 нагнетания.

В качестве информационных сигналов, используемых для выявления аварийной обстановки, применяются:

- $SW_{\text{нгл}}$ – сигнал объемной скорости потока жидкости в гидролинии нагнетания;
- $SW_{\text{сл}}$ – сигнал объемной скорости потока жидкости в гидролинии слива;
- $SW_{\text{кгл}}$ – сигнал объемной скорости потока жидкости в компенсационной гидролинии.

Формирование сигналов скоростей потоков рабочей жидкости осуществляется с помощью датчиков объемного расхода 2, 7, 10, установленных соответственно в нагнетающей, сливной и компенсационной гидролиниях.

Сигналы с выходов датчиков, в соответствующем масштабе подаются на сумматор 11. При исправной гидросистеме сумма всех составляющих сигналов с датчиков равна нулю, а математическая модель работы сумматора выглядит следующим образом:

$$SW_{\text{нгл}} + SW_{\text{сл}} + SW_{\text{кгл}} = 0$$

В случае разгерметизации системы в любом ее участке, на выходе сумматора 11 устанавливается сигнал, не равный нулю и несущий в себе информацию признака аварии. По знаку и амплитуде этого сигнала блоком 12 анализа и управления производится оценка сложившейся ситуации и определяется дальнейший ход работы гидравлической системы. При сверхмалых утечках включаются визуальный сигнализатор 13, при допустимых, но требующих немедленного вмешательства, включается акустический сигнализатор 14 для обслуживающего персонала, который устраняет неполадки, не выключая систему управления тренажера. При больших утечках блоком 12 формируется команда для аварийного отключения соответствующего агрегата в гидронасосной станции и сигнал $U_{\text{гз}}$ на включение гидрозамков, входящих в состав агрегата 4 управления на его второй вход. Гидравлические замки блокируют нагнетающую и сливную гидролинии, не давая возможность выхода рабочей жидкости под давлением наружу.

Предлагаемая автоматизированная система контроля герметичности подвижного стенда тренажера транспортных средств позволит обеспечить:

- непрерывный контроль герметичности гидросистемы подвижного стенда тренажера в процессе ее работы;
- высокую чувствительность и точность выявления аварийной ситуации;
- исключение выхода рабочей жидкости под давлением в месте разгерметизации;
- исключение травматизма обслуживающего персонала, повреждения оборудования и экологическую защиту окружающей среды;
- зрительную или слуховую информацию о координатах и объеме утечек;
- по количественной величине утечек – определение дальнейшего хода работы гидросистемы, вплоть до перевода ее в безаварийное положение.

Перечень ссылок

1. Прошкина, Л. А. Повышение качества и конкурентоспособности авиационных тренажеров на основе модернизации / Л. А. Прошкина, В. Н. Прошкин // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – Пенза, 2013. – Т. 2. – С. 40 – 42.
2. Аксенова, Е. А. Повышение эффективности обнаружения утечек рабочей жидкости в разветвлено-замкнутых гидросистемах / Е. А. Аксенова, М. А. Магомедова, В. Н. Прошкин // Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых. Сборник научных трудов XV научно-технической конференции аспирантов и студентов в г. Донецке 20-22 мая 2015 г. – Донецк, ДонНТУ, 2015. – С. 54-56.
3. Прошкин, В. Н. Автоматизированная система активного контроля утечек потенциально опасных сред в разветвленно - замкнутых гидросистемах. Мониторинг / В. Н. Прошкин, Л. А. Прошкина, Э. А. Магомедова, М. А. Магомедова // Наука и технологии. - № 4. – Махачкала, 2015. – С. 35-39.
4. Прошкин В. Н. Автоматизированная система обнаружения утечек рабочей жидкости в гидросистемах динамических стендов аэрокосмических тренажеров / В. Н. Прошкин, Э. А. Магомедова, М. А. Магомедова, Л. А. Прошкина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – № 4 (32). – 2016. – С. 75-81.