

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щербакова Н.В., Мартынова Е.Г., Синтез бутилкаучука, М., 1967.
2. Оудиан Дж., Основы химии полимеров, пер. с англ., М., 1974.

3. Долгопоск Б. А., Тинякова Е. И., Металлоорганический катализ в процессах полимеризации, М., 1982.
4. Тагер А. А. Основы физико-химии полимеров. М.: Химия, 1978.

Технические науки и современное производство**Технические науки****ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ВЫБОРА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
КОНТРОЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ
СОПРОТИВЛЕНИЙ КАНАЛОВ**

Блинов П.Н., Блинов А.П.

*Омский государственный университет
путей сообщения
Омск, Россия*

Известно, что эффективное проходное сечение (гидравлическое сопротивление) μf деталей топливной аппаратуры (ТА) высокого давления дизелей оказывает существенное влияние на показатели топливоподачи [1]. С целью снижения неравномерности подачи топлива по цилиндрам дизеля необходим подбор комплектов ТА с уче-

том μf элементов. Для этого ремонтные предприятия должны быть обеспечены соответствующими средствами контроля, отвечающими следующим требованиям: достаточная точность (не хуже 0,5-1,0 %); воспроизводство условий контроля, близких к реальным условиям работы ТА; минимальная трудоемкость испытаний; универсальность по отношению к различным элементам ТА; простота обслуживания и надежность в работе.

Для определения эффективного проходного сечения μf деталей линии высокого давления могут использоваться пневматические и гидравлические устройства [2, 3].

Их принцип действия основан на использовании уравнения неразрывности потока:

$$Q = \mu f \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)}, \quad (1)$$

где Q – расход жидкости (газа) через контролируемый элемент, м³/с;

μ – коэффициент расхода жидкости (газа) через элемент;

f – площадь поперечного сечения канала элемента, м²;

μf – эффективное проходное сечение элемента, м²;

P_1, P_2 – давление на входе и выходе элемента, Па;

ρ – плотность жидкости (газа), кг/м³.

Из пневматических устройств наибольшее распространение получили приборы с водяным манометром «солекс» и длинотеры-ротаметры.

Пневматические приборы «солекс» работают по принципу замера давления воздуха P_2 в воздушной камере прибора при обеспечении постоянного давления P_1 в его баллоне.

Из уравнения (1) имеем:

$$P_2 = \frac{\mu f^2 \cdot \frac{2}{\rho} \cdot P_1 - Q^2}{\mu f^2 \cdot \frac{2}{\rho}}. \quad (2)$$

Рассмотрим влияние отдельных параметров процесса измерения μf на величину P_2 , используя метод малых отклонений [4]. Для этого прологарифмируем уравнение (2):

$$\ln P_2 = \ln [(\mu f)^2 \cdot 2/\rho \cdot P_1 - Q] - \ln [(\mu f)^2 \cdot 2/\rho]. \quad (3)$$

Продифференцировав это выражение, получим:

$$\frac{dP_2}{P_2} = \frac{(\mu f)^2 \cdot \frac{2}{\rho} \cdot dP_1}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} + \frac{(\mu f)^2 \cdot P_1 \cdot d \cdot \frac{2}{\rho}}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} +$$

$$+ \frac{P_1 \cdot \frac{2}{\rho} \cdot d(\mu f)^2}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} - \frac{2QdQ}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} - \frac{2(\mu f) \cdot d(\mu f)}{(\mu f)^2} + \frac{d\rho}{\rho} \quad (4)$$

Умножив и поделив первый член уравнения (4) на P_1 , второй – на ρ , третий – на μf и считая малое приращение функции равным дифференциалу функции в окрестности заданной исходной точки, то

есть $\frac{dx}{x} = \delta x$, получим:

$$\begin{aligned} \delta P_2 = & \frac{\frac{2}{\rho} \cdot (\mu f)^2 \cdot P_1}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} \cdot \delta P_1 - \frac{\frac{2}{\rho} \cdot (\mu f)^2 \cdot P_1}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} \cdot \delta \rho - \\ & + \frac{2 \cdot \frac{2}{\rho} \cdot (\mu f)^2 \cdot P_1}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} \cdot \delta(\mu f) - \frac{2 \cdot Q^2}{\frac{2}{\rho}(\mu f)^2 \cdot P_1 - Q^2} \cdot \delta Q - 2 \cdot \delta \mu f + \delta \rho \end{aligned} \quad (5)$$

или

$$\delta P_2 = k_1 \delta P_1 - (k_1 - 1) \cdot \delta \rho + 2(k_1 - 1) \cdot \delta \mu f - 2(k_1 - 1) \cdot \delta Q, \quad (6)$$

где δP_2 – относительное измерение давления P_2 при изменении параметров правой части уравнения (6) в некоторой окрестности исходного состояния;

k_1 – численные коэффициенты, равные значениям соответствующих частных производных в исходной точке, то есть при заданных начальных значениях.

$$k_1 = \frac{\frac{2}{\rho} \cdot \mu f^2 \cdot P_1}{\frac{2}{\rho} \cdot \mu f^2 P_1 - Q^2} \quad (7)$$

Приняв за исходное состояние параметров их среднее значение, получим уравнение, представляющее собой метрологическую модель процесса измерения μf элементов ТА с помощью прибора “солекс”:

$$\delta P_2 = 3,02 \cdot \delta \cdot \mu f + 2,51 \cdot \delta P_1 - 1,51 \cdot \delta \rho - 3,02 \cdot \delta Q \quad (8)$$

Из выражения (8) следует, что при увеличении P_1 на 1%, при прочих неизменных параметрах, P_2 увеличится на 2,51%. При увеличении μf или уменьшении Q на 1% P_2 увеличится на 3,02%. Увеличение ρ на 1% приводит к уменьшению P_2 на 1,51%.

Стабилизатор и регистратор давления P_1 в приборе “солекс” обеспечивает поддержание P_1 с точностью до 1%. Таким образом, при заложенной в приборе погрешности P_1 в 1% величина P_2 изменится на 2,5%, т.е. уже по этому параметру прибор “солекс” не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к подобным устройствам по классу точности. Кроме того, измеритель P_2 , вы-

полненный в виде водяного манометра с визуальным отсчетом значения P_2 по мениску воды в манометрической трубке, обеспечивает точность измерения не выше 3 класса.

Пневматические длиномеры-ротаметры работают по принципу замера мгновенного расхода воздуха при автоматическом обеспечении постоянного перепада давления на чувствительном элементе – поплавке.

Выполнив аналогичные преобразования уравнения (1), используя метод малых отклонений, получим метрологическую модель процесса измерения μf элементов ТА с помощью ротаметра:

$$dQ = \delta \mu f + 0,83 \cdot \delta P_1 - 0,33 \cdot \delta P_2 - 1,20 \cdot \delta \rho. \quad (9)$$

Из уравнения (9) видно, что нестабильность параметров процесса измерения μf с помощью ротаметра оказывает менее заметное влияние на точность измерения по сравнению с прибором «солекс». Однако сам способ замера расхода воздуха Q с помощью поплавка в конусообразной трубке вносит погрешность до 2%.

Разработаны гидравлические устройства перепада давления [3] для определения пропускной способности распылителей форсунок путем

создания в объеме начального давления топлива, сообщения этого объема с распылителем в течение заданного промежутка времени, измерения остаточного давления и сравнения результата с эталоном.

Метрологическая модель процесса измерения μf с помощью такого устройства:

$$\delta(\Delta P) = 2 \cdot \delta V + \delta \rho - 2 \cdot \delta t - 2 \cdot \mu f. \quad (10)$$

Точность измерения этим устройством в большой степени зависит от плотности топлива в системе устройства. Стенды же, которые оборудуются приставками-измерителями μf , не имеют устройств стабилизации температуры, а значит и плотности рабочей жидкости. Кроме того, гидравлическое устройство перепада давления не может быть использовано для проверки μf других элементов ТА, имеющих эффективное проходное сечение, значительно большее, чем у много дырчатых распылителей.

Поэтому очевидна необходимость в другом способе определения μf элементов ТА, свободном от перечисленных выше недостатков, позволяющем повысить точность измерений и применимым для различных деталей линии высокого давления.

Если стабилизировать значения P_1 , P_2 , ρ во времени независимо от состояния контролируемого элемента, то выражение (1) примет вид:

$$Q = \frac{V}{t} = C_1 \mu f, \quad (11)$$

где C_1 – постоянная, зависящая от конструкции прибора.

Гидравлические стенды постоянного напора, основанные на использовании условия (11) могут применяться без переделок для измерения μf различных деталей и узлов ТА. Принцип их

действия основан на измерении объема жидкости, протекающей через контролируемый элемент при стабилизированных P_1 , P_2 , ρ и t .

Метрологическая модель процесса измерения μf с помощью стенда постоянного напора:

$$\delta V = \delta \mu f + 0,556 \delta P_1 - 0,056 \delta P_2 - 2,7 \cdot 10^{-6} \delta \rho + \delta t. \quad (12)$$

Анализируя модель (12), убеждаемся, что точность измерения при ее использовании высока. Нестабильность параметров оказывает незначительное влияние на точность.

Однако стенды постоянного напора имеют визуальный отсчет накопленной жидкости и не позволяют автоматизировать процесс испытаний.

На основании изложенного следует, что ни одно из существующих устройств не отвечает в полной мере предъявляемым к ним требованиям по точности измерений, универсальности по

отношению к различным элементам ТА, условиям автоматизации и трудоемкости испытаний.

С целью устранения указанных недостатков разработан автоматизированный стенд для контроля μf составляющих элементов комплекта ТА [5].

В основу определения μf элементов положено измерение времени заполнения заданного объема жидкостью через контролируемый элемент при постоянном перепаде давления жидкости на входе и выходе элемента.

Перепишем условие (2) в виде:

$$t = \frac{V}{C_1 \mu f} = \frac{C_2}{\mu f}, \quad (13)$$

где V – постоянный объем измерительной емкости, м^3 ;

C_2 – постоянная устройства;

t – время заполнения объема V , с.

Стенд, работающий на основе условия (13), позволяет автоматизировать процесс испытаний и документирования их результатов, универсален по отношению к различным элементам

ТА, дает возможность максимально приблизить условия испытаний к реальным условиям работы ТА на дизеле.

Процесс измерения μf элементов ТА с помощью автоматизированного стенда описывается метрологической моделью следующего вида:

$$\delta t = \delta \mu f + \delta V + 0,556 \delta P_1 - 0,056 \delta P_2 - 2,7 \cdot 10^{-6} \delta p. \quad (14)$$

Таким образом, точность определения μf элементов на данном стенде соответствует предъявляемым требованиям и, учитывая автоматизацию процесса испытаний, получение высокой достоверности результатов и возможность применения современной цифровой измерительной аппаратуры, предпочтение следует отдать этому стенду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы оценки технического состояния, эксплуатационной экономичности и экологической безопасности дизельных локомотивов: Монография / Под ред. А.И. Володина. – М.: ООО «Желдориздат», 2007. – 264 с.
2. Денисов А.А., Нагорный В.С. Пневматические и гидравлические устройства автоматизации. – М.: Высшая школа, 1978. – 213 с.
3. А.С. 1011891 (СССР). Способ определения пропускной способности распылителя форсунки / Белорус. ин-т инж. ж.-д. трансп.: Авт. изобрет.: Р.К. Гизатуллин, Б.А. Чмыхов, Г.Б. Федотов, Г.В. Никонов, П.В. Кулаев. – Заявл. 11.03.81 № 3259363/25-06; Оpubл. в Б.И., 1983. – №4. – МКИ F02M65/00.
4. Черкез А.Я. Инженерные расчеты газотурбинных двигателей методом малых отклонений. – М.: Машиностроение, 1975. – 380 с.
5. Стенд для измерения гидравлического сопротивления узлов и деталей топливной аппаратуры / П.Н. Блинов, А.И. Володин, В.П. Шаповал, А.М. Сапелин // Исследование надежности и экономичности дизельного подвижного состава. – Омск, 1981. – с.27-29.

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ШПИНДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ С ГАЗОМАГНИТНЫМИ ОПОРАМИ

Космынин А.В., Щетинин В.С.

*Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет
Комсомольск-на-Амуре, Россия*

Подъем промышленного производства в стране в последнее время, в том числе предприятий машиностроительного комплекса, обуславливает спрос на металлорежущее оборудование. При этом возрастает доля высокоточного и высокопроизводительного оборудования.

Скоростной параметр станка зависит от вида шпиндельного узла (ШУ) и типа опор при-

меняемых в нем. Высокие скорости вращения достигаются на опорах с газовой смазкой, магнитных опорах, конкретно на активных магнитных подвесах, и немного меньшей быстроходностью на опорах качения

Точность обработки зависит во многом от технологической схемы обработки. Известно, что наибольшая точность достигается при обработке детали за один установ. Кроме этого сокращается и вспомогательное время обслуживания станка. Поэтому черновые и чистовые операции желательно проводить на одном станке без открепления детали. Для этого необходим ШУ, который должен иметь достаточную несущую способность для черновых операций и высокую жесткость на финишных операциях.

ШУ на подшипниках качения обеспечивает высокую несущую способность и невысокую жесткость, так как контакт происходит, согласно теории эластогидродинамики, по очень маленькому пятну контакта тела качения и дорожки качения. Газостатические и газодинамические опоры шпиндельных узлов обеспечивают достаточно высокую жесткость, но при этом имеют незначительную несущую способность.

Разработанная в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете газоманитная опора вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к опорам, используемых в ШУ шлифовальных станков. Этот подшипник способен работать как просто газостатический, при выключенном питании соленоиде, так и в режиме газоманитного воздействия на шпиндель при включенном соленоиде. При этом в последнем случае опора имеет несущую способность выше в сравнении с обычным газостатическим подшипником.

Данные опоры практически остаются не изученными, что требует проведения всесторонних исследований. Зондирующие результаты теоретических и экспериментальных исследований показали, что несущая способность опоры удваивается. Следует учесть, что для шпиндельных высокоточных узлов также важным параметром является жесткость. Для этого сделаем оценку ШУ по двум основным параметрам - жесткости и несущей способности.

Решая задачу численным методом Гаусса-Зейделя, получено, что несущая способность шпиндельного узла на шлифовальном круге с включенной магнитной составляющей опоры вдвое выше, чем у газостатического подшипника. При этом проигрыш в жесткости составляет 20%. Снижение жесткости происходит по причине