

*N. P. Kuznetsov*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University  
*A. V. Volokhin*, JSC "Izhstroimontazh"

### A Model for Calculating Calibration Characteristics of a Railway Tank Wagon

*A model for calculating calibration characteristics of a tank wagon is proposed.*

**Key words:** railway tank wagon, fuel oil, volume of the tank filling, calibration curves, model of calibration calculation.

УДК 621.73(045)

**И. Б. Покрас**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет  
**Ю. Н. Шелковникова**, Ижевский государственный технический университет

## ВИСКОЗИМЕТР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЯЗКОСТИ И НАПРЯЖЕНИЯ СДВИГА ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

*Рассмотрены различные типы вискозиметров для исследования реологических свойств вязкопластических жидкостей. Предложен новый капиллярный вискозиметр, позволяющий определять вязкость и напряжение сдвига при переменных температуре и давлении. Описаны его конструкция и принцип работы, приведены выражения для определения необходимых реологических параметров исследуемой жидкости.*

**Ключевые слова:** вискозиметр, вязкость, напряжение сдвига, капилляр, кольцевой зазор, реологические свойства.

Экспериментальные исследования реологических свойств вязкопластических жидкостей производят с помощью различных контрольно-измерительных приборов [1]. Для определения основных реологических параметров – предельного статического и динамического напряжения сдвига, эффективной и пластической вязкости – используют вискозиметры. Существует несколько наиболее широко применяемых вискозиметров [2, 3]:

- ротационные;
- с падающим шариком (цилиндром);
- капиллярные;
- вибрационные.

Эти вискозиметры способны обеспечить надежные количественные реологические данные, и их можно рассматривать как взаимно дополняющие друг друга, потому что каждый тип имеет характерные, присущие только ему преимущества. При существующем множестве различных конструкций вискозиметров для измерения вязкости жидкостей при нормальном атмосферном давлении число вискозиметров для определения вязкости при переменных температурах и высоких давлениях невелико, и их конструкции довольно сложны.

Ротационные вискозиметры существуют трех видов: соосно-цилиндрические, с цилиндром, вращающимся в неограниченной жидкости, и вискозиметры типа конус – пластина. Они имеют сложную конструкцию и достаточно трудоемки при изготовлении. При этом схема течения смазки в ротационных приборах не соответствует течению смазки в кольцевых трубах.

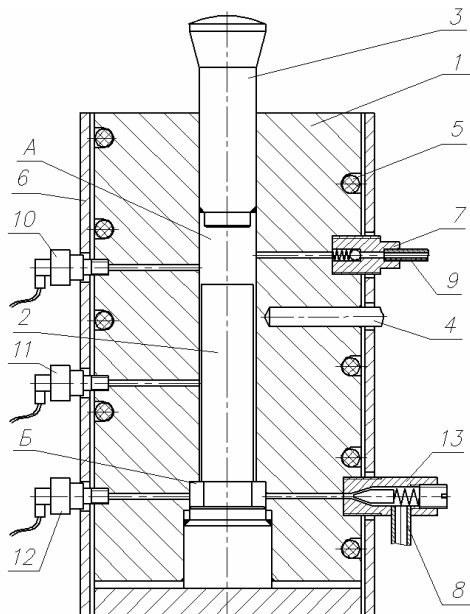
Вискозиметры, основанные на измерении вязкости смазок путем определения скорости падения шарика или груза, пригодны для исследования материа-

лов, обладающих сравнительно небольшими вязкостями. При высоких давлениях использовать вискозиметры этого типа неудобно, поскольку с ростом давления вязкость жидкости значительно увеличивается и шарик падает очень медленно [4]. Кроме того, использование данного способа измерения вязкости неоправданно, если его результаты предполагается использовать при исследовании процессов устанавливающегося течения в потоке заданной формы с определенной конфигурацией рабочих органов вискозиметра. У приборов для условных измерений с падающим шариком кроме неоднородности сдвига отсутствует стационарность. Этот недостаток относится также и к вибрационным вискозиметрам, которые дают лишь относительное значение эффективной вязкости.

Вибрационный метод вискозиметрии базируется на определении изменений параметров вынужденных колебаний тела правильной геометрической формы, называемого зондом вибрационного вискозиметра, при погружении его в исследуемую среду. Вязкость исследуемой среды определяется по значениям этих параметров.

Достоверность результатов измерений реологических параметров (например, буровых растворов, смазок, используемых при обработке металлов давлением, и др.) обеспечивается только в условиях стационарного ламинарного течения. Поэтому методы измерений этих параметров должны давать возможность соблюдения условий стационарности потоков исследуемой жидкости и независимости получаемых результатов от размеров измерительной части прибора, а также исключения искажающих эффектов (концевых, пристенного скольжения, температурных и др.).

Вискозиметры с капиллярной трубкой предпочтительнее, если полученные данные используются в задачах течения жидкости по трубам в виде кольцевого зазора. Для решения подобных задач был разработан вискозиметр [5], позволяющий определить вязкость и напряжение сдвига при переменных температурах и давлении (см. рис.).



Общий вид капиллярного вискозиметра

Вискозиметр содержит цилиндрический корпус 1 (в который вставлен стержень 2 и плунжер 3), узел контроля и поддержания заданной температуры (состоящий из датчика температуры 4, нагревательного элемента 5, теплоизоляционного кожуха 6), систему циркуляции жидкости (состоящую из обратного клапана 7, сливной 8 и нагнетающей 9 трубок, бака с исследуемой жидкостью), а также три электронных датчика давления 10, 11, 12 (расположенных вдоль капилляра и связанных с вычислительным устройством), при этом выходное отверстие капилляра укомплектовано дросселем 13. Капилляр выполнен в виде кольцевого зазора между цилиндрическим корпусом и расположенным внутри него стержнем.

Разработанный вискозиметр работает следующим образом. Он крепится на стол испытательной машины УЧМ-50 и в него заливают исследуемую жидкость, при этом концы сливной 8 и нагнетающей 9 трубок опускают в бак с этой жидкостью. Включают нагревательный элемент 5, доводят температуру вискозиметра до температуры, при которой необходимо измерить вязкость жидкости. Температуру контролируют датчиком температуры 4. Давление жидкости можно регулировать с помощью дросселя 13. Дроссель 13 настраивают на давление, при котором исследуется вязкость жидкости. На плунжер 3 сверху передают некоторое постоянное усилие от ползуна испытательной машины, при этом плунжер начинает двигаться вниз, сжимая исследуемую жидкость и создавая в ней давление. Жидкость из верхней по-

лости *A* через кольцевой капиллярный зазор между цилиндрическим корпусом 1 и расположенным внутри него стержнем 2 попадает в нижнюю полость *B*, откуда сливается через дроссель 13 по сливной трубке 8 в бак с исследуемой жидкостью. С помощью электронных датчиков давления 10, 11, 12 определяются величины давления жидкости по длине капилляра. При движении плунжера 3 вверх обратный клапан 7 открывается, и исследуемая жидкость заполняет верхнюю полость *A*, после чего вискозиметр готов к следующему опыту.

При проведении эксперимента на индикаторе испытательной машины УИМ-50 фиксировалось усилие *F*, при котором происходил слив жидкости. Также измерялась величина хода плунжера установки *H* и время *T*, в течение которого этот ход осуществлялся. Время фиксировалось с помощью электронного секундомера. Температура *t* установки контролировалась с помощью датчика температур Wika TR223. Давление измерялось с помощью трех датчиков Wika Transmitter ECO-1.

Вязкость  $\mu$  и напряжение сдвига  $\tau_s$  исследуемой жидкости определялись по следующим формулам [6]:

$$\mu = \frac{\pi h^3 (2\Delta p_1^3 l_2^3 R + h\Delta p_1^3 l_2^3 - 2\Delta p_2^3 l_1^3 R - h\Delta p_2^3 l_1^3)}{12l_1 l_2 (Q_1 l_2^2 \Delta p_1^2 - Q_2 l_1^2 \Delta p_2^2)}; \quad (1)$$

$$\tau_s = \frac{[\Delta p^2 (2\pi\Delta p h^3 R - 12Q\mu l - \pi\Delta p h^4)(2R - h)^2]^{1/3}}{2\pi^3 l (2R - h)}, \quad (2)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  – длина капилляров;  $h$  – зазор между цилиндрическим корпусом и расположенным внутри него стержнем;  $R$  – радиус цилиндрического отверстия в корпусе;  $Q_1$  и  $Q_2$  – соответственно, объемные расходы жидкости при капиллярах  $l_1$  и  $l_2$ . Объемный расход жидкости определялся по формуле (для каждого капилляра)

$$Q = VS_{\text{пл}} = \frac{H}{T} S_{\text{пл}}, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость перемещения плунжера;  $S_{\text{пл}}$ ,  $H$  и  $t$  – соответственно, его площадь, ход и время движения. Перепад давлений находился исходя из показания датчиков  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ , расположенных по длине капилляра:

$$\begin{aligned} \Delta p_1 &= p_1 - p_2; \\ \Delta p_2 &= p_3 - p_2. \end{aligned} \quad (3)$$

В выражении для напряжения сдвига  $\tau_s$  в качестве  $\Delta p$ ,  $l$  и  $Q$  можно использовать данные, полученные для любого из используемых капилляров.

Таким образом, используя предложенный вискозиметр можно одновременно определять вязкость и напряжение сдвига вязкопластических жидкостей при высоких температурах и давлениях.

## Библиографические ссылки

1. Демихов В. И., Леонов А. И. Контрольно-измерительные приборы при бурении скважин – М. : Недра, 1980 – 304 с.
2. Малкин А. Я., Исаев А. И. Реология: концепции, методы, приложения : пер. с англ. – СПб. : Профессия, 2007. – 560 с.
3. Кремлевский В. П., Степичев А. А. Вибрационные вискозиметры. – М. ; Л. : Машиностроение, 1968. – 24 с.

4. Барр Г. Вискозиметрия : пер. с англ. – Л. ; М., 1938.
5. Пат. РФ №75745. Капиллярный вискозиметр / И. Б. Покрас, Г. А. Чикуров, Ю. Н. Шелковникова. – № 2008113142/22 ; заявлено 04.04.2001 ; опубл. 20.08.2008, Бюл. 23.
5. Пат. РФ № 2244286. Способ определения реологических характеристик вязкопластических жидкостей / И. Б. Покрас, Ю. Н. Шелковникова. – № 2003132600 ; заявлено 06.11.2003 ; опубл. 10.01.2005, Бюл. № 1.

I. B. Pokras, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University  
Yu. N. Shelkovnikova, Izhevsk State Technical University

## Viscometer for Definition of Viscosity and Shear Stress at High Temperature and Pressure

*The various types of viscometers for examination of rheological properties of visco-plastic liquids are considered. A new capillary viscometer to determine viscosity and shear stress at variable temperatures and pressure is proposed. The viscometer design and principle of operation are described as well as formulas for determining rheological parameters of the studied liquid.*

**Key words:** viscometer, viscosity, shear stress, capillary, annular gap, rheological properties.

УДК 629.762.2

Д. А. Курганов, аспирант, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета  
Ф. А. Уразбахтин, доктор технических наук, профессор, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета  
М. С. Чебкасов, аспирант, Воткинский филиал Ижевского государственного технического университета

## АДАПТАЦИЯ СИЛОВОГО КОРПУСА ГОЛОВНОЙ ЧАСТИ РАКЕТЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МАССОВО-ЦЕНТРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛЕЗНОГО ГРУЗА

*Рассмотрена задача адаптации силового корпуса головной части ракеты к новому полезному грузу по массово-центровочным характеристикам. Предложен алгоритм адаптации, для которого построена математическая модель определения критических ситуаций. Доказана работоспособность алгоритма и модели на конкретном примере.*

**Ключевые слова:** критическая ситуация, алгоритм адаптации, математическая модель, головная часть, ракета.

Головная часть ракеты (см. рис. 1) подобно контейнеру обеспечивает сохранность полезного груза массой  $m_{гр1}$  от механических и атмосферных воздействий, а также фиксацию положения центра масс  $x_{гр1}$  на этапах технической эксплуатации и использования по назначению [1]. Эти функции головной части конструкции являются главными, для выполнения которых необходима достаточная прочность и устойчивость. Предельно допустимый уровень проявления этих свойств для конкретного полезного груза определен техническими условиями, в соответствии с которыми эта конструкция изготовлена.

Однако на практике усовершенствование полезного груза происходит более интенсивно, чем конструкция ракеты. Это привело к ситуации, когда необходимо обеспечить выполнение главных функций головной частью ракеты для другого полезного гру-

за, отличающегося от исходного массой ( $m_{гр2}$ ) и координатой положения центра масс ( $x_{гр2}$ ).

В таких случаях необходимо принятие ответственного решения. Его можно осуществить после получения количественных оценок, анализ которых позволяет определить возможность использования конструкции головной части с таким полезным грузом. Получение таких оценок предлагается осуществить с помощью теории критических ситуаций [2].

Определение количественных оценок, а также подбор значений соответствующих параметров адаптации к новому полезному грузу проводится в соответствии со специально разработанным алгоритмом (см. рис. 2). Исходной информацией для работы этого алгоритма являются: база данных 1, содержащая информацию о внешних силовых и температурных воздействиях на силовой корпус, которая получена по результатам телеметрических измерений при про-