

УДК 665.637-404

Н. П. Кузнецов, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет
А. В. Волохин, ООО «Ижстроймонтаж»

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ГРАДУИРОВОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА-ЦИСТЕРНЫ

Предложена модель расчета градуировочной характеристики цистерны.

Ключевые слова: железнодорожная цистерна, жидкое топливо, объем заполнения цистерны, градуировочная характеристика, модель расчета калибровочной характеристики.

Для перевозки жидких материалов железнодорожным транспортом широко используются железнодорожные вагоны-цистерны [1]. Для определения массы жидкости, залитой в цистерну, широко используется геометрический метод, основанный на том, что об объеме жидкости, находящейся в цистерне, судят на основании градуировочной характеристики цистерны по величине разлива – максимальной длине перпендикуляра от зеркала жидкости до стенки цистерны. Естественно, что объем жидкости в цистерне зависит от геометрии самой цистерны, что учитывается градуировочной характеристикой цистерны, которая также называется калибровкой сосуда. Построение аналитической модели градуировочной характеристики цистерны позволит значительно упростить процедуру калибровки цистерны.

В работе [2] сделана попытка получения конечной зависимости изменения объема заполнения цистерны от величины разлива h . Однако конечные аналитические зависимости в работе [2] не приводятся.

Обычно железнодорожная цистерна состоит из трех основных элементов – цилиндрической части (котла), двух эллиптических днищ и горловины.

На рис. 1 обозначены основные геометрические характеристики цистерны, которые обычно указываются в ее паспорте. Как следует из рис. 1, рабочий объем цистерны состоит из двух объемов, формируемых цилиндрической частью и эллиптическими днищами.

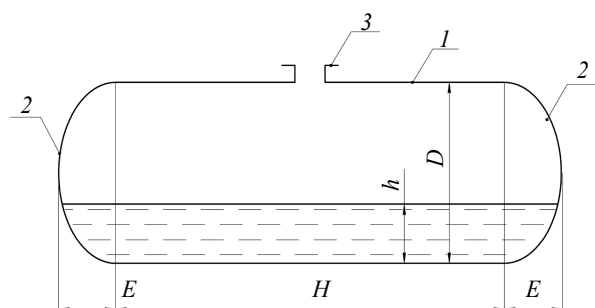


Рис. 1. Схема железнодорожной цистерны и ее основные геометрические параметры: 1 – котел; 2 – эллиптические днища; 3 – горловина

В соответствии с [1] погрешность определения вместимости цистерны должны быть $\pm 0,3\%$. При проверке цистерну устанавливают на прямом участке железнодорожного пути, значение степени наклона которого не более 0,01. Поэтому для расчетной схемы, изображенной на рис. 1, будем полагать степень наклона равной нулю.

Тем самым, объем заполнения цистерны определяется как сумма двух объемов: объем в цилиндрической части цистерны и объем линзовой части цистерны, формируемый эллиптическими днищами, как показано на рис. 2.

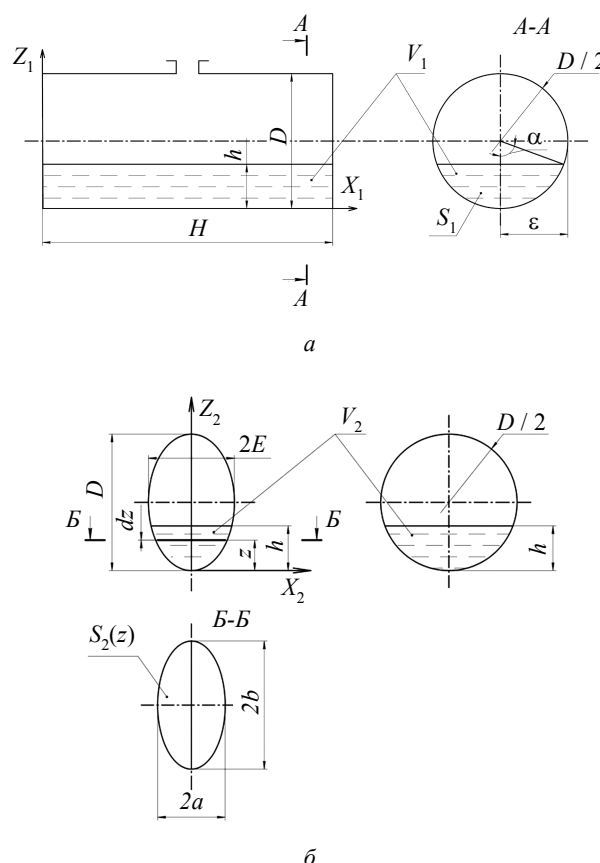


Рис. 2. К расчету объема цистерны, заполненной жидкостью: а – цилиндрический объем цистерны; б – объем линзы цистерны

Как и в работе [2], для определения объемов V_i будем использовать метод сечений. В соответствии с рис. 2, а для объема V_1 будем иметь

$$V_1 = \int_0^H S_1 dx_1, \quad (1)$$

где площадь сегмента S_1 определим в соответствии с [3] по известной формуле

$$S_1 = \alpha \frac{D^2}{4} - \varepsilon \left(\frac{D}{2} - h \right), \quad (2)$$

$$\text{где } \cos \alpha = \frac{D/2 - h}{D/2}; \quad \varepsilon = \frac{D}{2} \sin \alpha = \frac{D}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{D/2 - h}{D/2} \right)^2}.$$

В результате для объема V_1 получим:

$$V_1 = H \left\{ \frac{D^2}{4} \arccos \frac{D-2h}{D} - \frac{D-2h}{2} \sqrt{Dh-h^2} \right\}. \quad (3)$$

Уравнение образующей эллиптического днища по рис. 2, б является уравнением эллипса

$$4 \left(\frac{z_2 - \frac{D}{2}}{D} \right)^2 + \left(\frac{x_2}{E} \right)^2 = 1. \quad (4)$$

В сечении Б-Б будем иметь эллипс с полуосями a и b , для которых в соответствии с [3] из геометрических соображений получим:

$$b = \sqrt{\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{D}{2} - z \right)^2}; \quad (5)$$

$$a = E \sqrt{1 - \left(\frac{z - D/2}{D} \right)^2}. \quad (6)$$

Площадь эллипса с полуосями a и b в соответствии с [3] будет равна

$$S_2(z) = \pi ab = \pi \frac{E}{D} (Dz - z^2). \quad (7)$$

Для объема V_2 получим:

$$V_2 = \int_0^h \pi \frac{E}{D} (Dz - z^2) dz = \pi \frac{E}{D} \left(\frac{Dh^2}{2} - \frac{h^3}{3} \right). \quad (8)$$

Тогда полный объем цистерны, заполненной жидкостью, будет определяться по формуле

$$\begin{aligned} V(h) &= V_1(h) + V_2(h) = \\ &= H \left(\frac{D^2}{4} \arccos \frac{D-2h}{D} - \frac{D-2h}{2} \sqrt{Dh-h^2} \right) + \\ &\quad + \pi \frac{2E}{D} \left(\frac{Dh^2}{2} - \frac{h^3}{3} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Формула (9) позволяет строить калибровочную характеристику железнодорожной цистерны с эллиптическими днищами. С целью анализа адекватности модели (9) калибровочным паспортным характеристикам железнодорожных цистерн были проведены расчеты по формуле (9), которые сравнивались с результатами проливов цистерны. Так, характеристика для цистерны типа 903 Ra с параметрами $H = 9310$ мм; $E = 650$ мм; $D = 2600$ мм и полным объемом 54 м^3 по формуле (9) приведена на рис. 3.

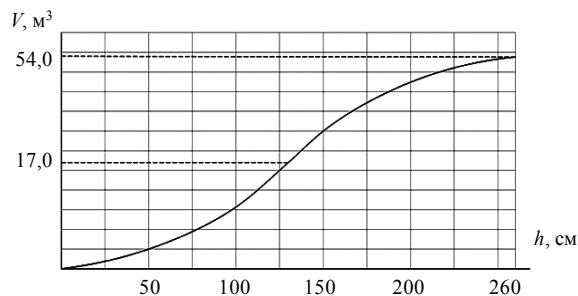


Рис. 3. Калибровочная характеристика железнодорожной цистерны типа 903 Ra

В таблице приведены некоторые значения калибровочной характеристики железнодорожной цистерны, полученные по формуле (9) и результатам проливов как функция взлива h .

Калибровочная характеристика железнодорожной цистерны типа 903 Ra

h , мм	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
$V_{\text{прол}}^{\circ}, \text{ м}^3$	1,825	5,113	9,246	13,948	19,025	24,318	29,681	34,974	40,051	44,753	48,886	52,174
$V^{\circ}, \text{ м}^3$ (формула (9))	1,825	5,114	9,247	13,949	19,026	24,319	29,681	34,974	40,051	44,753	48,885	52,174

Можно показать, что аналогичным образом могут быть получены математические модели калибровочной характеристики железнодорожных цистерн, имеющих более сложную геометрию.

Библиографические ссылки

1. Цистерны железнодорожные. Общие требования к методам проверки объемным методом. — М.: Изд-во стандартов, 2004. — 74 с. — URL: www.complexdoc.ru
2. Воронина О. А., Лобанова В. А. Об одном подходе к моделированию процесса отпуска нефтепродуктов // Нефтегазовое дело. — 2006.
3. Бронштейн Н. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. — 13-е изд., испр. — М.: Наука, 1986. — 544 с.

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.).