

Copyright © 2015 by Academic Publishing House Researcher



Published in the Russian Federation
European Journal of Technology and Design
Has been issued since 2013.

ISSN: 2308-6505

E-ISSN: 2310-3450

Vol. 8, Is. 2, pp. 79-85, 2015

DOI: 10.13187/ejtd.2015.8.79

www.ejournal4.com

UDC 532.522

Mathematical Modeling of Fluid Outflow from the Reservoir

¹ L.A. Mihalchenko² S.S. Makarov¹ Kamsky Institute of Humanitarian and Engineering Technologies, Russian Federation² Institute of Mechanics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

Abstract

The article contains mathematical model and the simulation results of liquid outflow from the reservoirs at alternating dynamic level. The results obtained for the three sizes of vertical steel tanks – PBC PBC-1000 -5000, -20000 PBC and horizontal tanks, wagon – tanks of 50 m³ and 100 m³ and 150 m³. Obtain a functional dependence of the liquid outflow from the tanks, depending on the diameter of the outlet nozzle. For horizontal tank volume of 50 m³ is given assessment of the impact of the coefficient of flow at the time of expiration.

Keywords: reservoir, mathematical model, an issue, a liquid.

Введение

Актуальной задачей при проектировании и эксплуатации объектов нефтегазового комплекса является построение и исследование математических моделей процессов и явлений, имеющих место в производственном цикле сложных технических объектов и систем. В связи с этим разработка математических моделей, алгоритмов расчетных программ и поведение численных исследований способствуют более детальному и всестороннему изучению рассматриваемых технологических процессов.

Объект исследования: резервуары вертикальные и горизонтальные цилиндрические стальные для хранения нефти и нефтепродуктов.

Цель работы: исследование динамики истечения жидкости из резервуаров при переменном динамическом уровне.

Задачи: сбор и систематизация информации по исследуемому процессу; разработка расчетной схемы резервуара; построение математической модели процесса истечения жидкости из резервуаров при переменном динамическом уровне; исследование математической модели процесса при корректных начальных данных.

В практике хранения различного рода жидких углеводородов широкое применение нашли вертикальные и горизонтальные резервуара.

Примером могут служить РВС – резервуар вертикальный стальной (рис. 1).

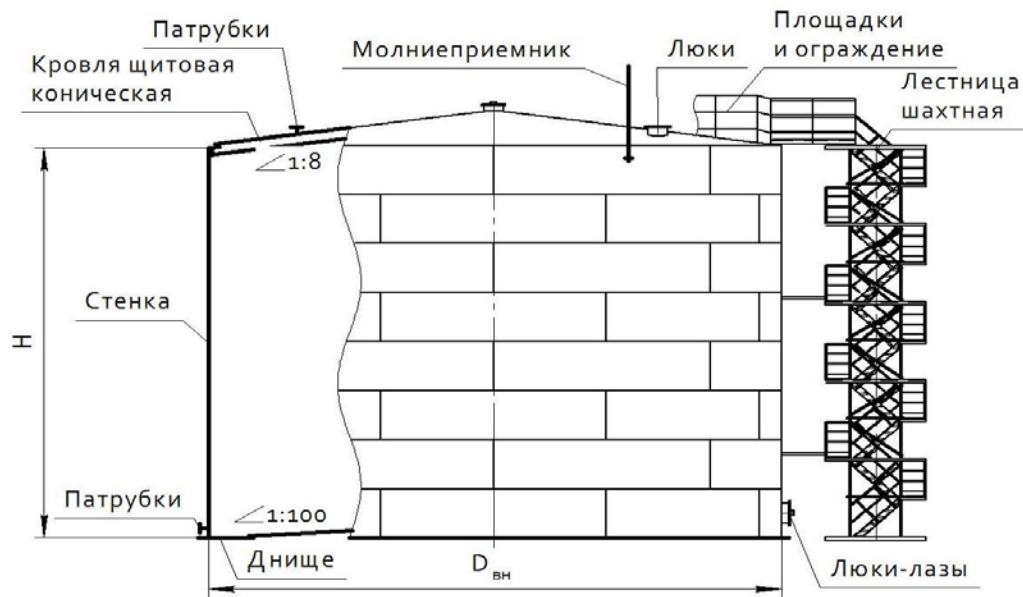


Рис. 1. РВС

Примерами горизонтальных резервуаров являются железнодорожные вагоны – цистерны и емкости (рис. 2).

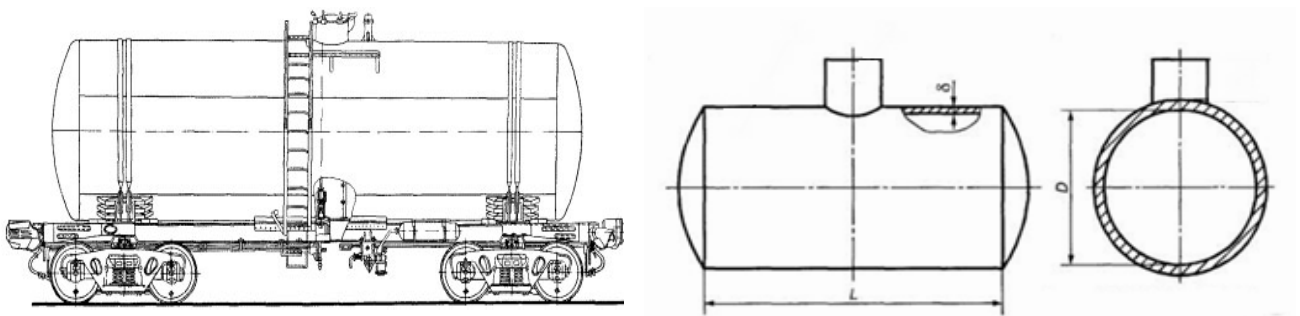


Рис. 2. Вагон – цистерна и горизонтальная ёмкость

Расчетные схемы

В качестве расчетной схемы рассмотрим открытый в атмосферу сосуд из которого происходит истечение жидкости при постоянно уменьшающемся напоре (рис. 3).

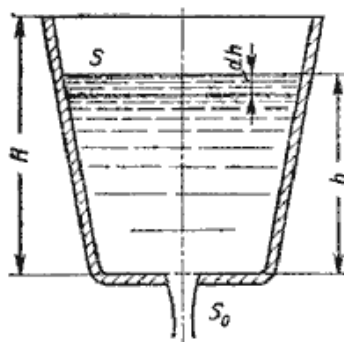


Рис. 3. Схема опорожнения резервуара

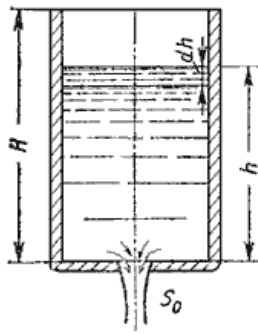


Рис. 4. Опорожнение призматического резервуара

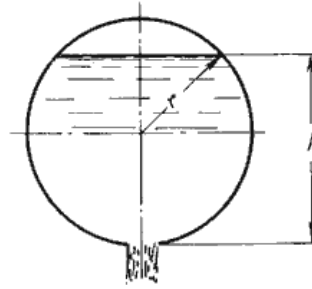


Рис. 5. Опорожнение непризматического резервуара

Математическая модель [1-3]

Если напор, а, следовательно, и скорость истечения из резервуара изменяются медленно, то движение в каждый момент времени можно рассматривать как установившееся, и для решения задачи применить уравнение Бернулли. Обозначим переменную высоту уровня жидкости в сосуде за h , площадь сечения резервуара на этом уровне S , площадь отверстия S_0 , и взяв бесконечно малый отрезок времени dt , можно записать следующее уравнение объемов:

$$Sdh = -Qdt \text{ или } Sdh = -\mu S_0 \sqrt{2gh} \cdot dt \quad (1)$$

где dh - изменение уровня жидкости за время dt ; μ - коэффициент расхода. Из (1) время полного опорожнения сосуда (рис.3) высотой H :

$$t = -\frac{1}{\mu S_0 \sqrt{2g}} \int_H^0 S \frac{dh}{\sqrt{h}} \quad (2)$$

Полное время истечения определяется, если известен закон изменения площади S по высоте h резервуара. Для сосуда у которого $S = \text{const}$ (рис.4) время полного опорожнения:

$$t = \frac{2SH}{\mu S_0 \sqrt{2gH}} \quad (3)$$

Из этого выражения следует, что время полного опорожнения сосуда с постоянной площадью сечения в два раза больше времени истечения того же объема жидкости при постоянном напоре, равном первоначальному.

Для определения времени истечения жидкости из горизонтального цилиндрического резервуара (цистерны) (рис. 5) выразим зависимость переменной площади S от h :

$$S = 2l\sqrt{h(D-h)}, \quad (4)$$

где l - длина цистерны; D - диаметр цистерны. Тогда время полного опорожнения цистерны, т.е. время изменения напора от $h_1 = D$ до $h_2 = 0$, получится равным:

$$t = \frac{4lD\sqrt{D}}{3\mu S_0 \sqrt{2g}}. \quad (5)$$

Результаты моделирования

Проведенный предварительный обзор и анализ литературных источников [4, 5] позволил выбрать начальные параметры для трех типов резервуаров вертикальных стальных (РВС) табл. 1 и вагон – цистерн – горизонтальных резервуаров табл. 2.

Таблица 1. Исходные данные по вертикальным резервуарам

Номинальный объем V , м ³	Внутренний диаметр D , м	Высота стенки H , м	Площадь сечения S , м ²	Условный проход патрубка d_0 , м	Площадь сечения патрубка S_0 , м ²	Коэффициент расхода, μ
1000	10,43	12	85,44	0,25	0,05	0,5
5000	20,92	15	343,73	0,4	0,13	0,65
20000	39,9	18	1250,36	0,7	0,35	0,75

Таблица 2. Исходные данные по горизонтальным резервуарам

Номинальный объем V , м ³	Внутренний диаметр D , м	Длина цилиндрической части L , м	Площадь сечения S , м ²	Условный проход патрубка d_0 , м	Площадь сечения патрубка S_0 , м ²	Коэффициент расхода, μ
50	2,6	9	5,31	0,08	0,005	0,5
100	3	13	7,07	0,15	0,02	0,65
150	3,4	17	9,08	0,3	0,07	0,75

На рис. 6 приведена зависимость времени опорожнения РВС в зависимости от диаметра выходного патрубка.

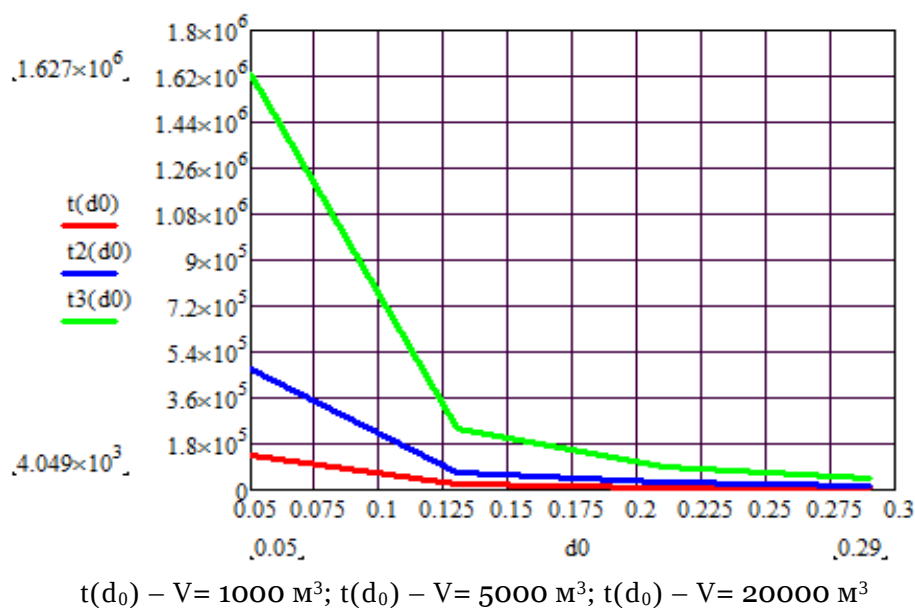
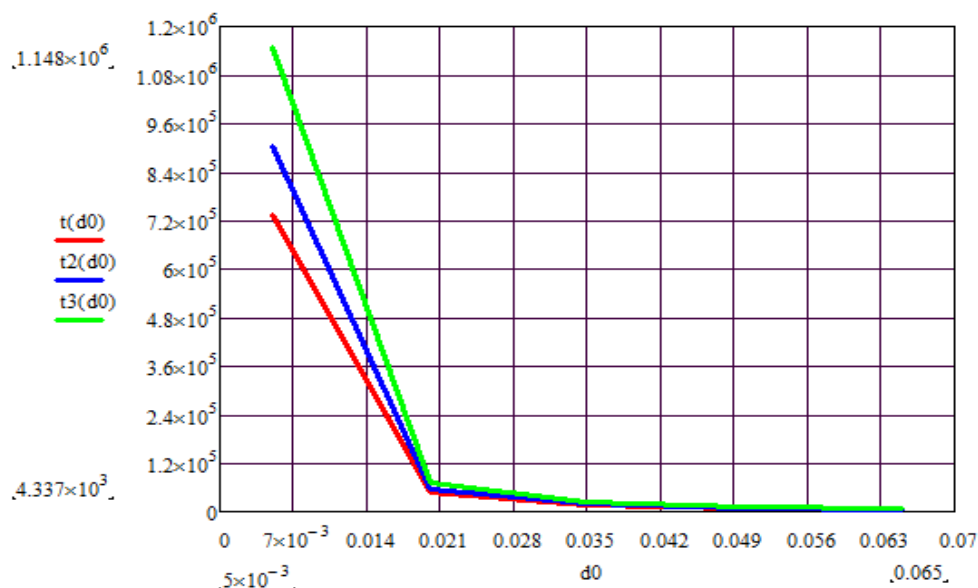


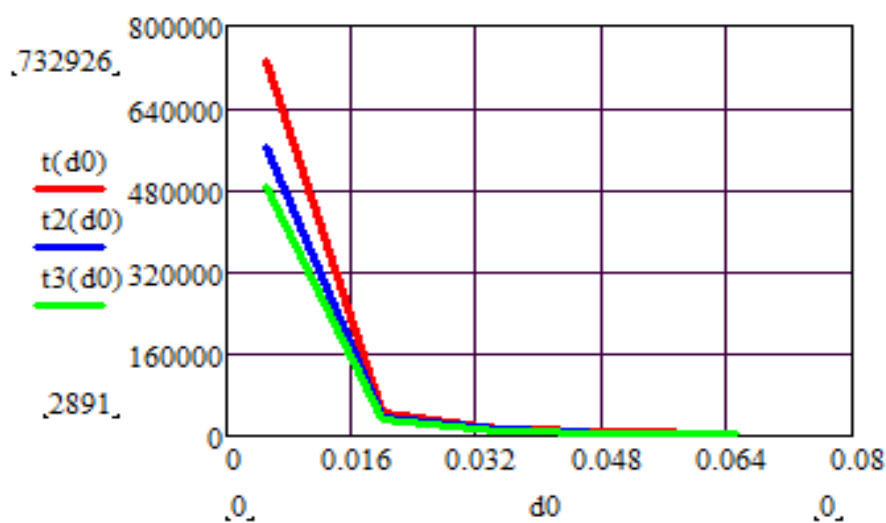
Рис. 6. Зависимость времени истечения жидкости из РВС от диаметра выходного патрубка

На рис. 7 приведена зависимость времени опорожнения горизонтальных резервуаров в зависимости от диаметра выходного патрубка.



$t(d_0) - V = 50 \text{ м}^3$; $t(d_0) - V = 100 \text{ м}^3$; $t(d_0) - V = 150 \text{ м}^3$
 Рис. 7. Зависимость времени истечения жидкости из цистерн от диаметра выходного патрубка

Взяв за основу горизонтальный резервуар с номинальным объемом 50 м^3 были проведены оценочные расчеты, влияния условий истечения на время истечения.



$t(d_0) - \mu = 0,5$; $t(d_0) - \mu = 0,65$; $t(d_0) - \mu = 0,75$

Рис. 8. Зависимость времени истечения жидкости из цистерн от диаметра выходного патрубка

Видно, что изменение коэффициента расхода μ в большую сторону приводит к сокращению времени.

На рис. 9 приведен график времени истечения в относительных величинах $t_{22} = \frac{t(d_0) - t_2(d_0)}{t(d_0)} \cdot 100\%$; $t_{33} = \frac{t(d_0) - t_3(d_0)}{t(d_0)} \cdot 100\%$.

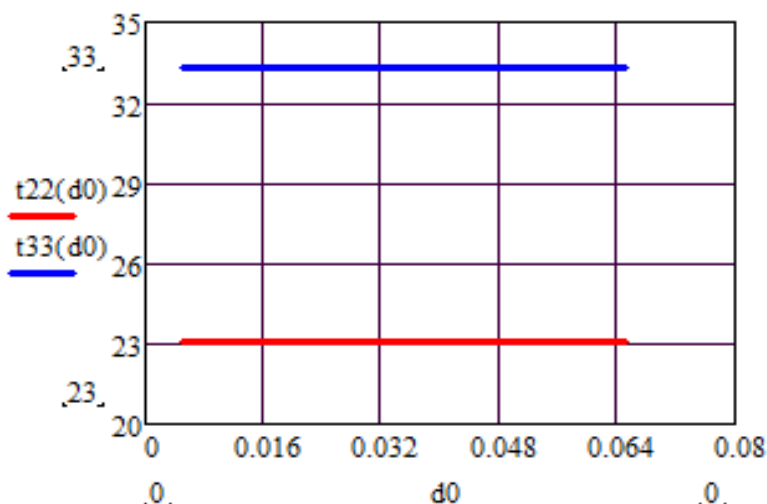


Рис. 9. Относительное время истечения, %

Выводы:

1. Приведенная математическая модель позволяет качественно и количественно дать оценку времени истечения жидкости из резервуаров с переменным динамическим уровнем при заданных условиях истечения.
2. С помощью модели можно исследовать влияние геометрических и гидравлических условий истечения на конечное время резервуара.
3. Оценка влияния условий истечения показало, что в независимой от объема РВС изменение коэффициента расхода μ на 23 % приводит к увеличению времени на 23 %, а при изменении μ на 25 % время увеличивается на 33 %. Следовательно, зависимость времени от геометрических условий имеет не линейный характер.

Примечания:

1. Абрамзон Л.С., Колпаков Л.Г. Гидравлика: Истечения жидкостей через отверстия и насадки. Гидравлические струи. Динамическое воздействие струи на преграду. Кавитация: Учеб. Пособие. Уфа: УНИ, 1981. 88 с.
2. Александров А.А. Истечение жидкости из отверстий и насадков. Л.: ЖИ, 1963. 92 с.
3. Зотов В.А. Математическая модель истечения жидкости из резервуара через систему малых отверстий / В кн.: Международная научно-практическая конференция «Инженерные системы – 2009». Тезисы докладов. М.: РУДН, 2009. С. 78.
4. ГОСТ 31385-2008 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов.
5. http://стко.рф/html/carriages_cistern.php#cistern (Дата обращения 22.04.15).

References:

1. Abramzon L.S., Kolpakov L.G. Gidravlika: Istecheniya zhidkosti cherez otverstiya i nasadki. Gidravlicheskie strui. Dinamicheskoe vozdeistvie strui na pregradu. Kavitatsiya: Ucheb. Posobie. Ufa: UNI, 1981. 88 s.
2. Aleksandrov A.A. Istechenie zhidkosti iz otverstii i nasadkov. L.: ZhI, 1963. 92 s.
3. Zotov V.A. Matematicheskaya model' istecheniya zhidkosti iz rezervuara cherez sistemu malyx otverstii / V kn.: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Inzhenernye sistemy – 2009». Tezisy dokladov. M.: RUDN, 2009. S. 78.
4. GOST 31385-2008 Rezervuary vertikal'nye tsilindricheskie stal'nye dlya nefi i nefteproduktov.
5. http://stko.rf/html/carriages_cistern.php#cistern (Data obrashcheniya 22.04.15).

УДК 532.522

Математическое моделирование истечения жидкости из резервуаров

¹ Л.А. Михальченко

² С.С. Макаров

¹ Камский институт гуманитарных и инженерных технологий, Российская Федерация

² Институт механики УрО РАН, Российская Федерация

Аннотация. В работе приведена математическая модель и результаты моделирования истечения жидкости из резервуаров при переменном динамическом уровне. Результаты получены для трех типоразмеров резервуаров вертикальных стальных – РВС-1000 РВС -5000, РВС -20000 и горизонтальных резервуаров, вагон - цистерн объемом 50 м³, 100 м³ и 150 м³. Получены функциональные зависимости времени истечения жидкости из резервуаров в зависимости от диаметра выходного патрубка. Для горизонтального резервуара объемом 50 м³ приведена оценка влияния величины коэффициента расхода на время истечения.

Ключевые слова: резервуар, математическая модель, истечение, жидкость.