

УДК 681.7.068

И.А. Кириченко, А.Л. Кашура, М.А. Кашура

Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, Северодонецк

## О ПОВЫШЕНИИ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ТАРИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГЛУБЛЕННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ РЕЗЕРВУАРОВ

*В статье рассматривается метод аппроксимации результатов экспериментальной обработки проведения тарировки цилиндрических резервуаров объемным методом для построения градуировочных характеристик, что позволяет повысить точность учета жидкости в резервуаре.*

**Ключевые слова:** тарировка, градуировочная характеристика, мерник, объемный метод, цилиндрический резервуар, погрешность.

### Введение

Наиболее простым и распространенным методом получения градуировочных таблиц, пригодным для использования для резервуаров произвольной формы, является объемный метод. Для заглубленных резервуаров этот метод является единственно возможным.

ДСТУ 4218-2003 Метрологія. Резервуари сталні горизонтальні циліндричні. Методика повірки (ГОСТ 8.346-2000, MOD) дає методіку повірки сталних горизонтальних резервуарів. Згідно цієї методіки образцовые мерники должны обеспечить возможность получения дозы в объеме, достаточном для подъема уровня воды в резервуаре в пределах от 10 до 40 мм. В алгоритмах построения таблиц используется простейшая линейная интерполяция.

### Описание эксперимента

Значения высот и объемов наполнения содержат случайные погрешности. Это подтверждается экспериментальными исследованиями. Специалистами лаборатории Госстандарта была выполнена тарировка цилиндрического резервуара объемом  $15.5 \text{ м}^3$  100-литровым мерником.

Такие погрешности не могут быть объяснены неровностями резервуара. Разности высот между измерениями составляют 10 мм. Внешний осмотр резервуара не выявил подобных неровностей. Такая картина может быть вызвана только погрешностями измерений. Качество градуировочных таблиц после таких измерений неудовлетворительное. Хотя, если проанализировать поведение графика, то можно увидеть, что общая закономерность поведения градуировочной характеристики, несмотря на локальные погрешности, неизменна. Т.е. анализ поведения графика подтверждает результаты визуального осмотра резервуара. При этом любое отклонение экспериментального графика от закона поведения кривой может быть пересчитано на размеры реальных

неровностей. Приведенные отклонение в 30-50 л на 1 см измерений никак не согласуются с размерами реальных деформаций, их просто не может быть при данных размерах и конфигурации резервуара.

По результатам тарировки был построен график, изображенный на рис. 1.

Такое поведение экспериментальных данных характерно для всего диапазона измерений. Для сравнения ниже приведен график зависимости объема от высоты уровня жидкости в резервуаре, полученный аналитическим методом. Хорошо видно, что уровень случайных отклонений сравним с отклонениями от теоретического объема.

Кроме того, в градуировочных таблицах очень большое значение имеет правильное поведение производной уровня жидкости в резервуаре, т.е. величины изменения объема на единицу высоты (на 1 мм). От этого зависит правильность сменных отчетов операторов автозаправочных станций, как материально ответственных лиц.

Поэтому использование такой градуировочной таблицы, построенной на основе линейной интерполяции, недопустимо.

Наличие такого большого числа погрешностей связано с большим числом измерений (наливов). Это трудоемкая и неблагодарная работа. Так, для наполнения емкости объемом  $15.5 \text{ м}^3$  было сделано 155 измерений. Ошибки в таких случаях неизбежны. Хотя это предельный случай, т.е. для таких емкостей допускается использование мерников объемом 200 л, все равно с учетом выполнения требований ГОСТ 8.346-79 число измерений будет не менее 80. Дополнительно, на каждое измерение влияет погрешность мерника, погрешность налива и погрешность промера высоты налива жидкости в резервуаре.

Во многих случаях градуировочные таблицы можно получить только с помощью объемного метода. Например, для подземных резервуаров или резервуаров, имеющих большие деформации, которые нельзя описать аналитически.

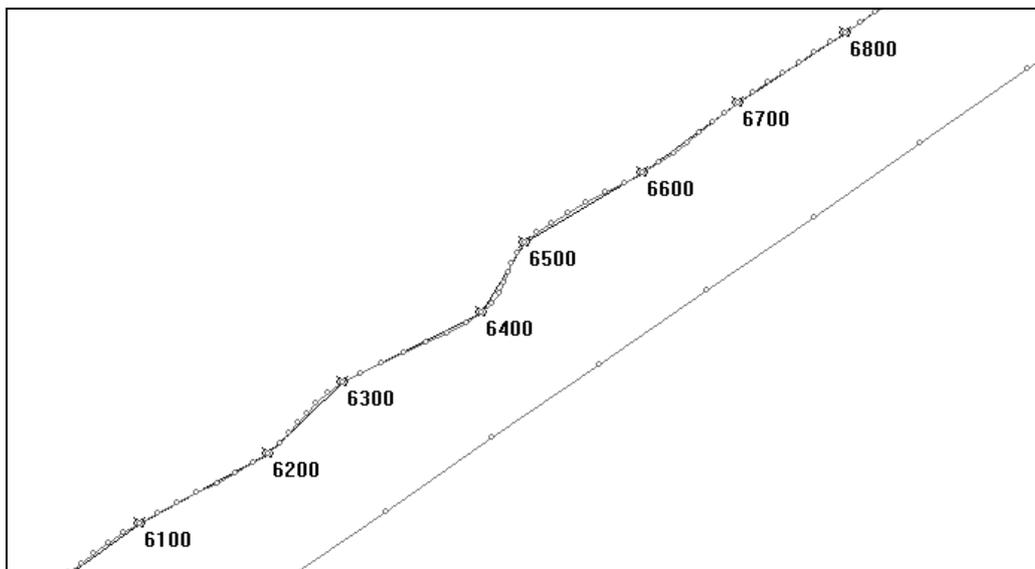


Рис. 1. Експериментальні дані тарировки

Но, как можно видеть из рис. 1, точность полученных результатов оставляет желать лучшего. В то же время, зачищая резервуары перед тарировкой, можно иметь результаты визуального осмотра на предмет наличия деформация, уклонов и неровностей. Учет этих данных требует процесса соответствующей корректировки человеком на основе визуального просмотра данных, интуиции и практического опыта либо применения сложных математических алгоритмов для анализа плохо собранных данных.

Кроме того, в местах деформаций может понадобиться более тщательная проверка процесса наполнения или слива, чтобы с максимальной точностью описать поведение неровностей.

подавляющее большинство резервуаров являются цилиндрическими, причем такой конфигурации, которую можно описать аналитическими методами, т.е. можно считать известными общие закономерности поведения градуировочных характеристик. Поэтому, для избежания как локальных, так и общих погрешностей, целесообразно применение методик, обеспечивающих получение градуировочных таблиц на основе минимального числа измерений.

В этом случае методы линейной интерполяции данных не подойдут, так как не смогут описать криволинейные зависимости. В научных работах [2] уже есть опыт использования сглаживающих кубических сплайнов для корректировки объемов и высот наполнения в пределах заданных допустимых погрешностей определения высот и объемов.

Для этих целей могут быть использованы B-сплайн в качестве сглаживающего либо C-сплайн для прохождения через характерные точки измерений. Авторами была разработана программа обработки результатов измерений на основе сплайновой аппроксимации. Такой алгоритм может с абсолют-

ной точностью описать аналитическую градуировочную характеристику для идеальных цилиндрических резервуаров. Реальные резервуары отличаются от идеальных, но эти отличия не оказывают влияния на закономерности поведения градуировочных характеристик. Поэтому для описания реальных характеристик резервуаров целесообразно уменьшать число измерений. В этом случае на градуировочную характеристику будут в меньшей степени оказывать влияние погрешности измерений и наливов. Общую закономерность поведения градуировочной характеристики можно контролировать в соответствии с аналитическим решением. При этом можно учитывать общие уклоны и глобальные неровности – нецилиндричность, эллипсоидную форму резервуара и т.п. Для локальных неровностей – выпуклостей и вмятин, изломов могут быть использованы как расчетные, так и экспериментально полученные корректирующие зависимости.

Расчетные зависимости получаются путем обмера деформаций и дальнейшего получения аналитических зависимостей. Экспериментальная корректировка осуществляется путем изменения шага проведения замеров наливов.

Если деформацию нельзя обнаружить визуально (хотя в реальности все подземные и наземные резервуары должны зачищаться), о наличии неровности можно судить из анализа поведения градуировочной характеристики в сравнении с аналитической зависимостью, построенной с учетом формы и размеров резервуара.

На рис. 2 приведена градуировочная характеристика того же участка резервуара, полученная с учетом приведенных рекомендаций. Ее поочередная проверка в течение нескольких месяцев показала значительно большую точность по сравнению с характеристикой на рис. 1.

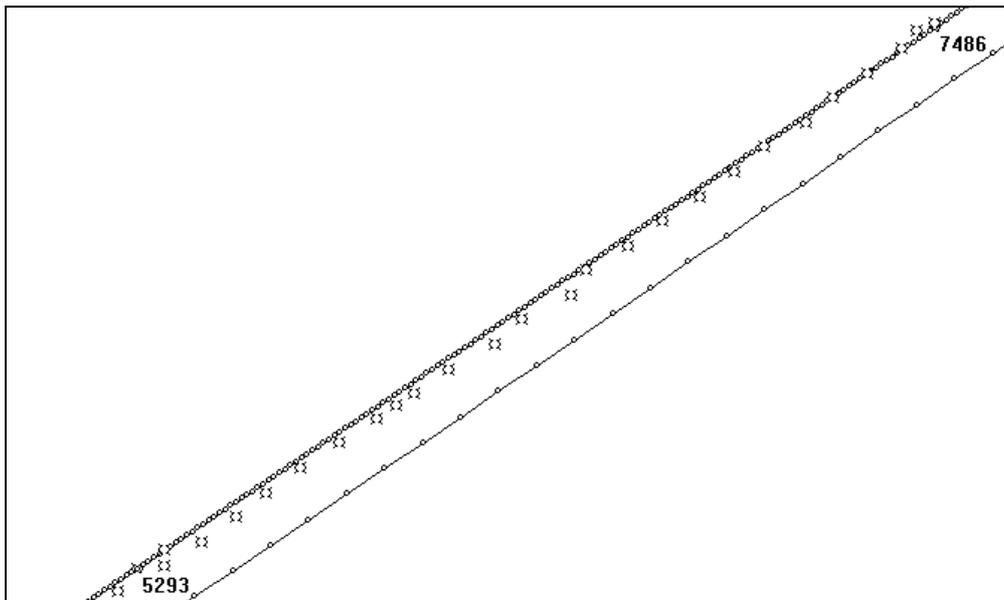


Рис. 2. Графік градуировочной характеристики после программной обработки

В общем случае для более точного построения и обработки результатов измерений необходим комплексный подход – обработка опытных данных должна проводиться с учетом теоретических зависимостей анализа формы и размеров резервуара и формы и размеров неровностей, тем более, что по заданным размерам при существующих математических и численных методах подавляющее большинство неровностей может быть описано аналитически.

### Выводы

1. Для уменьшения погрешностей измерений и наливов при построении градуировочной характеристики число опытов должно быть минимальным.
2. Для контроля общей закономерности поведения градуировочной характеристики необходим учет формы резервуара.
3. Математическая обработка результатов измерений должна обеспечить максимально возможное сглаживание производной градуировочной характеристики и ее выпуклости.
4. Локальные деформации должны быть локализованы. На них должны быть сделаны корректи-

рующие функции в виде более подробных результатов измерений либо аналитических зависимостей. Эти корректировки должны быть учтены в градуировочной характеристике.

### Список литературы

1. ГОСТ 8.346-79. Резервуары стальные горизонтальные. Методы и средства поверки.
2. Носач В.В. Программное обеспечение и алгоритмы расчета градуировочных характеристик резервуаров / В.В. Носач, Б.М.Беляев // Измерительная техника. – М.: ИПК «Изд-во стандартов», 2001. – № 7, июль. – С. 34-38.
3. Горбунов Н.И. Расчет градуировочных характеристик резервуаров объемным методом / Н.И. Горбунов, А.Л. Кашура // Збірник доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сталій розвиток гірничо-металургійної промисловості», 18-22 травня 2004 р. – Кривий Ріг : Видавництво Криворізького технічного університету, 2004. – С. 152-154.

Поступила в редколлегию 14.04.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.О. Шведчикова, Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, Северодонецк.

### ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПОБУДОВИ ТАРИРОВОЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАГЛИБЛЕНИХ РЕЗЕРВУАРІВ

І.О. Кириченко, О.Л. Кашура, М.О. Кашура

*В статті розглядається метод апроксимації результатів експериментальної обробки проведення тарировки циліндричних резервуарів об'ємним методом для побудови градуировочних характеристик, що дозволяє підвищити точність підрахунків рідини в резервуарі.*

**Ключові слова:** тарировка, градуировочна характеристика, мірник, об'ємний метод, циліндричний резервуар, похибка.

### IMPROVING THE ACCURACY OF CONSTRUCTION OF THE CALIBRATION CHARACTERISTICS OF THE BURIED CYLINDRICAL TANKS

I.O. Kirichenko, O.L. Kashura, M.O. Kashura

*The article discusses a method of approximation of experimental results processing calibration of cylindrical tanks by volumetric method for building calibration parameters, which allows to increase the accuracy of the calculation of liquid in the tank.*

**Keywords:** calibration, calibration characteristics, meter, volumetric method, measuring cylinder, the error.