# МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО, ГЕОДЕЗИЯ И КАДАСТР

УДК 622.1+528

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-7-69-79

# Методика маркшейдерской съемки и устранения деформаций днища стальных резервуаров

# Барулин А. И.1

<sup>1</sup> Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Костанайская обл., Республика Казахстан *e-mail: barulinai@mail.ru* 

# Реферат

**Введение.** На месторождениях нефти используется большое количество стальных вертикальных резервуаров для хранения нефти и других жидкостей. Их строительство требует непрерывного маркшейдерского контроля, но методики измерений, обработки результатов, исправления отклонений и документирования не отличаются универсальностью и не подходят по точности для резервуаров с объемом менее 3000 м<sup>3</sup>, а процесс исправления обнаруженных отклонений неровностей днища плохо обоснован и является интуитивным.

**Цель работы.** Выполнение исследований, направленных на повышение точности и достоверности исполнительной съемки днища металлического стального резервуара малого объема, обоснование минимальной высоты его неровностей, повышение объективности и производительности обработки измерений, разработка однозначного способа прогнозируемого по времени исправления неровностей днища и обоснование оптимального состава исполнительной схемы его рельефа.

**Методология.** Метод геометрического нивелирования съемки профиля днища, не обеспечивающий надлежащей точности, заменен методом тригонометрического нивелирования. Создан метод определения отклонений реального профиля днища резервуара от проектного положения посредством алгебраических действий с поверхностями топографического порядка. Выполнена оценка точности определения наименьшей высоты неровностей днища при тахеометрическом способе съемки. Предложена методика контроля исправления неровностей днища резервуара, основанная на оценочных расчетах деформаций днища методом конечных элементов.

**Результаты работы.** Все разработки проиллюстрированы на конкретном производственном примере. Установлено, что для полного завершения работы достаточно двух итераций исправления отклонений неровностей днища резервуара. Представлены способы оптимального оформления исполнительных схем объекта.

**Выводы.** Разработана простая, точная, малозатратная, производительная, прогнозируемая по времени выполнения методика маркшейдерской съемки, математической обработки и исправления отклонений профиля днища резервуара, сокращающая сроки его строительства и увеличивающая время эксплуатации.

**Ключевые слова:** резервуар; днище; картирование; обработка измерений; исправление отклонений; метод конечных элементов; исполнительная схема.

**Введение.** Для хранения нефтепродуктов и других жидких материалов на месторождениях нефти используют вертикальные стальные резервуары (PBC) различных объемов [1]. Строительство таких сооружений требует непрерывного маркшейдерского инструментального контроля с целью обеспечения требований геометрической точности, от которой зависят безопасность и долговечность их использования.

Большинство видов контроля являются стандартными: положение центра резервуара; взаимное положение элементов сооружения; радиальность основания; вертикальность стенок и др. Однако при монтаже резервуаров имеются отдельные

виды работ, на которые нет общепринятых методик съемки ГОСТ Р 51872-2019, обработки ее результатов, исправления отклонений и составления исполнительных схем.

К таким работам относится картирование неровностей конического стального днища резервуара. Неровности поверхности днища резервуара l, показанные на рис. 1 вдоль линии DE, образуются в процессе их строительства при стягивании и сварке изготовленных на заводе металлических стенок ABCHGF и ADCHIF, основания ABCD и кровельных радиальных балок 5. В процессе заполнения сосуда жидкостью неровности расправляются — слышен звук хлопка, поэтому в технической литературе их чаще всего обозначают термином xлопуны [2].

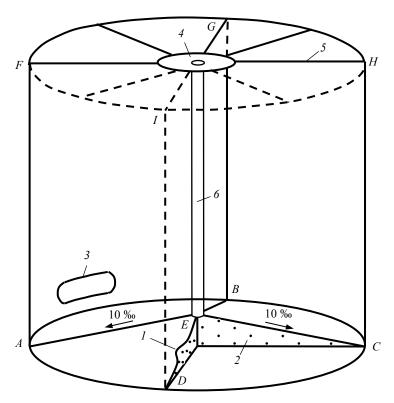


Рисунок 1. Схема металлического резервуара: 1 — хлопун; 2 — гидрофобный слой; 3 — лаз; 4 — корона; 5 — кровельные радиальные балки; 6 — центральная стойка Figure 1. Metal storage tank scheme: 1 — dent; 2 — hydrophobic layer; 3 — manway; 4 — crown plate; 5 — roof radial beams; 6 — center post

Несмотря на то, что на *хлопуны* приходится только около 2 % всех опасных дефектов и повреждений стальных вертикальных резервуаров [3], они всегда представляют реальную угрозу разрушения целостности днища сосуда. Возвратные деформации металлической конструкции могут сопровождаться повреждением сварных швов между листами, из которых методом автоматической сварки изготовлено основание, поэтому строительные нормы и правила СНиП 3.03.01-87 ограничивают предельно допустимые размеры *хлопунов* по площади и высоте.

После завершения монтажа резервуара для обоснования соответствия геометрии его днища предъявляемым требованиям составляется соответствующая исполнительная схема на основе геодезической съемки. Обычно съемка выполняется

методом геометрического нивелирования по радиальным линиям с частотой, обеспечивающей определение профиля основания резервуара в целом. Однако такой подход на сосудах объемом менее 3000 м³ сопряжен с высоким уровнем погрешности, так как находящийся под основанием резервуара гидрофобный слой смеси кварцевого песка и вязкого нефтепродукта 2 и небольшая толщина используемой листовой стали не способствуют устойчивости поверхности днища незаполненного резервуара. Перемещающийся по днищу резервуара реечник за счет собственного веса изменяет профиль основания. В процессе геометрического нивелирования короткие плечи, высокая кратность увеличения зрительной трубы и плохая устойчивость основания измерительной станции также не способствуют высокой точности съемки. Чем меньше радиус основания резервуара и его толщина, тем ниже точность решения поставленной задачи.

**Цель работы.** Настоящее исследование направлено на повышение точности и достоверности исполнительной съемки поверхности основания металлического резервуара посредством ее выполнения цифровым тахеометром в безотражательном режиме измерений. При этом тахеометр устанавливается в центре основания резервуара, где в силу особенностей строительства формируется плоская площадка диаметром 1,6–2,0 м, обеспечивающая необходимую для работы устойчивость прибора и наблюдателя. Наличие такой площадки объясняется тем, что на ней до начала монтажа стенок резервуара устанавливается центральная стойка 6, удерживающая кольцо короны 4, к которому впоследствии привариваются кровельные радиальные балки 5 для фиксации стенок резервуара. После установки кровельных радиальных балок центральная стойка удаляется, и под ней уже сформирована уплотненная устойчивая площадка.

**Методология.** Измерения в безотражательном режиме работы тахеометра позволяют исключить погрешности, возникающие на поверхности основания резервуара от действия веса помощника с отражателем. Чтобы определить влияние на деформирование основания резервуара веса наблюдателя и инструмента до начала съемки, через лаз обслуживания 3 (рис. 1) определяется высота точки установки тахеометра E. Погрешность определяется как разность высотной отметки точки E перед началом и в процессе производства геодезической съемки. Выполненные методом геометрического нивелирования по методике II класса точности измерения высотной отметки точки E до и в процессе выполнения наблюдателем тахеометрической съемки показали, что она не превышает  $\Delta h_{\rm co} = \pm 0{,}0005$  м. Такой уровень устойчивости точки съемочного обоснования свидетельствует о ее фактической высотной неподвижности и допустимости производства с нее тахеометрической съемки.

Незначительное удаление точек съемки от инструмента и хорошие отражающие характеристики листовой стали позволяют выполнять эти работы всеми электронными тахеометрами в безотражательном режиме работы. Исполнительная съемка рассматриваемого резервуара выполнена полевой станцией *Leica TS06* [4] с использованием специального жесткого тахеометрического штатива, устанавливаемого на металлическое основание на резиновые подкладки для исключения их проскальзывания.

Полевые станции позволяют получать пространственные координаты любых съемочных точек, поэтому предварительная разбивка сетки съемочных точек на поверхности основания резервуара не выполнялась. Съемку днища предпочтительнее выполнять вдоль линий сварных швов и по линии периметра основания резервуара. Линия периметра стенок резервуара вследствие сплошного сварного шва с основанием остается практически недеформируемой, а соединения стальных листов самого основания представляют наибольший интерес, так как именно

по ним развиваются опасные деформации. При установке измерительной станции в точке E угловая ориентировка прибора выполняется на одну и ту же произвольную точку, нанесенную на стенку резервуара маркером, в условной системе координат.

Отсутствие предшествующих съемке разбивочных работ позволяет существенно повысить производительность измерительных работ. С учетом того факта, что подобную съемку в процессе устранения неровностей основания резервуара приходится делать несколько раз, такой подход позволяет избавиться от ненужных рутинных действий.

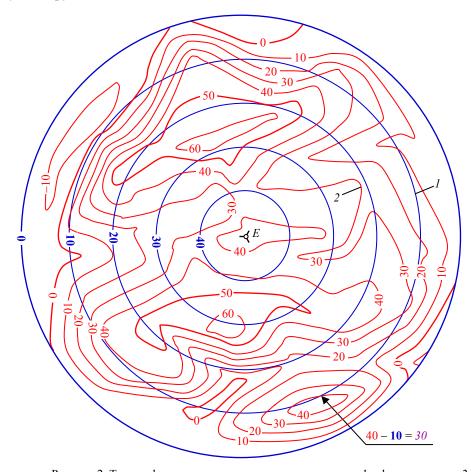


Рисунок 2. Топографические поверхности теоретического – I и фактического – 2 основания резервуара пожарного водоснабжения Figure 2. Topographic surfaces of theoretical – I and current – 2 base of the firewater tank

Предлагаемая методика камеральной обработки результатов измерений иллюстрируется на примере строительства второго пожарного вертикального стального резервуара воды объемом 1000 м³ центральной перекачивающей станции месторождения нефти имени Р. Требса и А. Титова Ямало-Ненецкого автономного округа Архангельской области. Резервуар диаметром 10,44 м и высотой 12,0 м был изготовлен на заводе и доставлен к месту сборки автотранспортом по зимнику в виде рулонов. Основанием резервуара является совокупность забитых в вечномерзлые грунты свай в виде стальных металлических труб диаметром 0,209 м и ростверка из двутавра 24М.

Данные измерений должны быть импортированы из памяти полевой станции в графический редактор AutoCAD [5] компьютера в виде совокупности точек плоской прямоугольной проекции с оцифровкой соответствующих им высотных отметок. По контурным точкам проводится линия границы основания резервуара, кругами от точки съемочного обоснования E обозначены кольцевые изолинии теоретической конической поверхности его основания (рис. 2), имеющего проектный всесторонний уклон в 10 ‰, с удобной для решения задачи высотой сечения. В данном случае высота сечения изолиний теоретической поверхности основания выбрана равной  $0,01\,$  м. Аналогичная высота сечения выбрана для построения фактической поверхности днища, хотя они могут быть различными. Построение изолиний основания резервуара выполнено в графическом редакторе  $AutoCAD\,$  методом объемной палетки [6].

Искомую поверхность *хлопунов* находим способом выполнения алгебраических операций с поверхностями топографического порядка [7]. С этой целью необходимо вычесть из теоретической высотной отметки днища резервуара фактическую высотную отметку основания резервуара в точках пересечения их топографических поверхностей (например, 40-10=30, рис. 2), обозначить точки их пересечений и снабдить числовыми значениями рассчитанных разностей высотных отметок двух топографических поверхностей.

На полученных точках разности высотных отметок теоретического и фактического положения днища резервуара построить в изолиниях поверхность, наглядно отображающую отклонение смонтированного днища от проектного положения (рис. 3).

Нормативные требования ГОСТ 31385-2016 относятся только к предельно допустимой высоте *хлопунов* в 150 мм, но этим документом не определена их минимально допустимая высота. По мнению автора, этот параметр не может не иметь место, так как в значительной степени зависит от точности: подготовки необходимого профиля гидрофобного основания  $\Delta h_p$ , обеспечения необходимой степени уплотнения песчано-масляного основания  $\Delta h_w$ , изготовления плоских поверхностей резервуара из стальных листов  $\Delta h_l$ , устойчивости точки съемочного обоснования  $\Delta h_{\rm co}$ , маркшейдерской съемки *хлопунов* днища резервуара  $\Delta h_i$  и влияния внешних погодных условий.

Погрешность измерения вертикального угла, с, определяется по формуле [8]:

$$m_{\delta} = \pm \sqrt{m_{\rm o}^2 + m_{\rm v}^2},\tag{1}$$

где  $m_{\rm o},\,m_{\rm v}$  – погрешности отсчитывания и визирования соответственно.

Для определения погрешности отсчитывания в электронных тахеометрах неприменимы выражения, используемые в оптических инструментах, так как она свободна от ошибок человека, поэтому принимаем ее равной паспортной (для полевой станции  $Leica\ TS06$  она составляет  $m_0 = \pm 1"$ ).

Погрешность визирования определяется по формуле:

$$m_{\rm v} = \frac{60''}{v} = \pm 2.3'',$$

где  $\upsilon$  – увеличение зрительной трубы полевой станции *Leica TS06*,  $\upsilon$  = 26 крат.

Тогда рассчитанная по формуле (1) погрешность измерения вертикального угла составит  $m_{\delta}=2.5"$  (при паспортном значении тахеометра TS06, равном  $\pm 2.0"$ ).

Средняя квадратичная ошибка (СКО) определения превышения от неточного измерения вертикального угла, м, может быть вычислена по формуле:

$$M_{\rm v} = \pm \frac{m_{\rm \delta}}{\rho} S \cos \delta,\tag{2}$$

где  $\rho$  – линейно-угловая константа,  $\rho$  = 206 265;  $\delta$ , S – средние значения измеряемого вертикального угла и наклонной длины при высоте инструмента 1,7 м,  $\delta$  = 33°; S = 3,115 м.

Тогда рассчитанная по формуле (2) СКО превышения от неточного измерения вертикального угла составит  $M_v = \pm 0,00003$  м.

Погрешность измерения наклонной длины стороны S, м, при использовании полевой станции  $Leica\ TS06$  в безотражательном режиме определяется по формуле [4]:

$$m_S = \pm (0,003 + 0,002 \, ppm \cdot S),$$

где ppm – коэффициент атмосферной коррекции; S – измеренное расстояние, км.

С учетом того, что средняя измеряемая наклонная длина стороны S существенно меньше километра, вторым слагаемым  $m_S$  можно пренебречь. Тогда  $m_S = \pm 0{,}003$  м.

СКО определения превышения от неточного измерения наклонной длины, м, может быть вычислена по формуле [8]:

$$M_s = \pm m_s \sin \delta = \pm 0,0016.$$

Тогда СКО инструментальной съемки, м, можно определить как среднюю квадратичную погрешность измерения превышения по формуле тригонометрического нивелирования:

$$\Delta h_i = \pm \sqrt{M_v^2 + M_S^2} = \pm 0,0016.$$

Контроль качества формирования профиля гидрофобного слоя выполняли методом геометрического нивелирования технической точности нивелиром Leica~NA300. Измеренная максимальная погрешность составила  $\Delta h_p = \pm~0,005$  м.

Определение качества уплотнения гидрофобного слоя проверялось полевым пенетрометром статического зондирования SO65, максимальное просадочное отклонение составило  $\Delta h_w = 0,005$  м.

Неровность плоских поверхностей, изготовленных на заводе, из которых на объекте монтировался резервуар, в соответствии с ГОСТ 31385-2016 должна быть не более  $\Delta h_t = 0,004$  м.

На определение минимальной высоты *хлопунов* в условиях Заполярья оказывают существенное влияние сложно учитываемые погодные условия (сильный ветер и непрерывно изменяющийся тепловой нагрев стенок резервуара незаходящим солнцем), степень пересеченности рельефа и ситуация на территории строительства.

Учитывая сложность оценки неблагоприятного влияния всех этих неравноточных и функционально не связанных друг с другом погрешностей, м, используем наихудший вариант их проявления, когда они имеют одинаковый знак и суммируются:

$$\Delta h = \Delta h_i + \Delta h_{co} + \Delta h_p + \Delta h_w + \Delta h_l = 0,0016 + 0,0005 + 0,005 + 0,005 + 0,004 \approx 0,02.$$

Таким образом, в рассматриваемом методическом примере необходимо уменьшить площадь только трех *хлопунов*, пронумерованных римскими цифрами на рис. 3. Все *хлопуны* высотой 20 мм и ниже, а также площадью меньше 2  $\rm M^2$  должны игнорироваться.

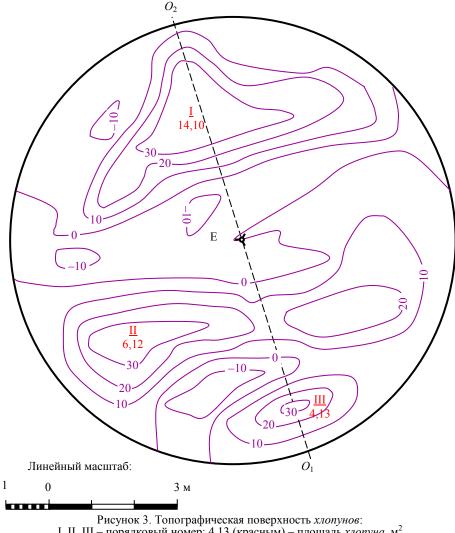


Рисунок 3. Топографическая поверхность *хлопунов*: <u>I, II, III</u> – порядковый номер; 4,13 (красным) – площадь *хлопуна*, м² Figure 3. Topographic surface of *dents*: <u>I, III</u>, <u>III</u> – number; 4,13 (red) – area of *a dent*,  $m^2$ 

Исправление деформаций начинают со снижения высоты хлопунов, если они по высоте больше 0,15 м, в соответствии с требованиями технической инструкции (РД 34.21.526-95. Типовая инструкция по эксплуатации металлических резервуаров для хранения жидкого топлива и горячей воды. Строительные конструкции. М.: СПО ОРГРЭС, 1995. 68 с.), но на резервуарах небольшого объема они встречаются редко. Затем приступают к уменьшению их площади.

Единственным способом уменьшения площади хлопунов являются потолочные радиальные балки, укорачиванием или удлинением которых можно достичь поставленной цели. На этой стадии необходимо уменьшить площадь хлопунов днища резервуара до значений, по площади меньше  $2 \, \mathrm{m}^2$ .

Чтобы выполнить исправление профиля днища резервуара за прогнозируемый интервал времени, предложена и реализована следующая методика. Разработана универсальная плоская математическая конечно-элементная модель стального резервуара, показанная на рис. 4. Очертания резервуара, опорного кольца и гидрофобного слоя отображались плоскими треугольными конечными элементами. Узлы математической модели, особенно по днищу, расположили в точках производства маркшейдерской съемки. Чтобы избежать жесткой паразитной связи между конечными элементами стального основания резервуара и несущего песчано-масляного гидрофобного слоя в математическую модель были встроены контакт-элементы [9], которые в отличие от конечных элементов могли деформироваться с нарушением сплошности.

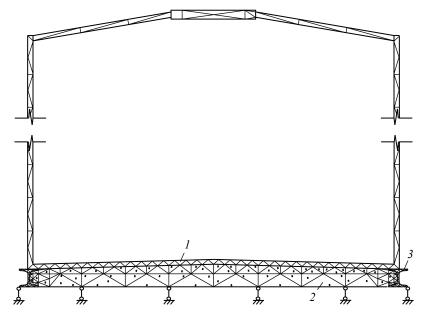


Рисунок 4. Математическая модель стального резервуара с конечными элементами: I – резервуар; 2 – гидрофобный слой; 3 – опорное кольцо Figure 4. Mathematical model of a steel storage tank with finite elements: I – storage tank; 2 – hydrophobic layer; 3 – plate

Несущее основание математической модели в рассматриваемой задаче принималось горизонтальным и недеформируемым. Плоские координаты днища и стенок резервуара математической модели в расчетном сечении корректировались по результатам выполненной маркшейдерской съемки.

Физико-механические свойства стали приняты по ее марке [10]: модуль упругости  $E=2,1\cdot 10^5$  МПа; коэффициент Пуассона v=0,27; плотность  $\rho=7,9$  г/см<sup>3</sup>. Гидрофобный слой представлял собой смесь 97 % кварцевого мелкозернистого песка и 3 % отработанного машинного масла по объему. Физико-механические свойства гидрофобной смеси получены на сдвиговом приборе ГГП-30 [11]: E=24 МПа, v=0,43,  $\rho=1,6$  г/см<sup>3</sup>, сцепление C=0,37 кПа, угол внутреннего трения 25°. Плотность стальных радиальных балок принималась равной нулю, так как в решаемой задаче они выполняли функцию только жесткой связи стенок резервуара.

Для решения задачи использовалась авторская программа метода конечных элементов [12], предоставляющая возможности модификации ее кода под нужды конкретной решаемой задачи. Например, программа была дополнена модулями коррекции положения резервуара по данным инструментальных наблюдений и

оперативного контроля допустимости деформирования резервуара в процессе исправления *хлопунов*.

Для облегчения процесса исправления неровностей днища стального резервуара стенки резервуара в процессе его монтажа фиксировали к *короне* только третьей частью радиальных балок. В рассматриваемом примере использовали 8 из 24 балок.

Table 1. Final parameters of the tank bottom dems		
Номер хлопуна	Измеренная площадь*, м <sup>2</sup>	Измеренная высота, м
1	1,84	0,073
2	0,55	0,037
3	1,89	-0,027
4	1,43	0,041
5	1,23	-0,032
6	1,95	0,039
7	1,89	0,059

Таблица 1. Окончательные параметры хлопунов днища резервуара

Table 1. Final parameters of the tank bottom dents

Решалась упруго-пластическая задача, так как выход в зону пластичности конструкций резервуара невозможен по требованиям его проекта, но гидрофобный слой должен испытывать пластические деформации по его функциональному назначению. Для решения задачи использовался метод сил [13]. Горизонтальные силы задавали интуитивно в верхней части стенок резервуара. Результаты расчетов считались удовлетворительными при достижении 60–70 % значения исправления геометрии *хлопуна*, так как в решаемой задаче напряженно-деформированное состояние плоским можно считать только приближенно. Все действия нацеливались на деление крупного *хлопуна* по площади на две части. Наилучшими решениями были те, в которых искомого результата добивались, деформируя обе стенки резервуара. В каждом расчетном приближении допустимо деформирование не более чем в трех расчетных сечениях, таких как  $O_1$ – $O_2$  (рис. 3).

На полученное расчетное перемещение точки приложения силы, если оно было больше 0,005 м, удлиняли или укорачивали соответствующую радиальную балку. Затем снова выполнялась исполнительная маркшейдерская съемка, математическая обработка результатов измерений и следующее приближение по исправлению неровностей днища резервуара. Для увеличения производительности маркшейдерских работ составлена компьютерная программа автоматического построения картограммы *хлопунов* днища.

На начальной стадии разработки этой методики предпринимались попытки решения объемной задачи методом конечных элементов. Использовались программы [14, 15] в полном соответствии с описанным ранее решением. Без труда добивались расчетного исправления неровностей днища по всей площади, но в реальности это приводило к ухудшению исходного состояния. Единственной причиной неудовлетворительного соответствия расчетного и реального состояний являлись непрогнозируемые прочностные свойства сварных швов AF и CH (рис. 1), выполняемых на месте строительства резервуара. По этой причине от решения объемной задачи методом конечных элементов пришлось отказаться.

**Результаты работы.** Для резервуаров объемом менее 3000 м<sup>3</sup> обычно двух итераций исправления *хлопунов* достаточно для достижения параметрами днища

<sup>\*</sup> При допустимой площади  $2,00 \text{ м}^2$  и допустимой высоте 0,15 м.

значений нормативных документов. Из трех хлопунов большой площади иллюстрируемого примера получено 7 хлопунов, не превышающих требуемой высоты и площади. Если на днище резервуара немного хлопунов, то их параметры можно подписать непосредственно на геодезической исполнительной схеме, если много, то на схеме необходимо пронумеровать их, а параметры привести в прилагаемой таблице. Для рассматриваемого примера резервуара описание полученных характеристик хлопунов представлено в табл. 1.

Выводы. К достоинствам предлагаемой методики определения параметров и устранения *хлопунов* днища металлического резервуара объемом менее 3000 м<sup>3</sup> относятся: простота и высокая производительность полевых маркшейдерских работ; исключение существенного влияния внешних механических искажений на результаты геодезических измерений; однозначность определения формы и очертаний хлопунов; высокая точность; меньшая по сравнению с классической методикой трудоемкость камеральной обработки результатов измерений; существенное сокращение времени на исправление обнаруженных маркшейдерскими измерениями отклонений днища резервуара от проектного положения.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Стальные вертикальные резервуары низкого давления для нефти и нефтепродуктов / Н. В. Николаев [и др.]. Тюмень: Академия, 2001.767 с.
- 2. Алешкина А. А., Бурков П. В., Буркова С. П. Исследование состояния днища резервуаров вертикальных стальных // ГИАБ. 2011. № 2. С. 92–98.
- 3. Сафина И. С., Каузова П. А., Гущин Д. А. Оценка технического состояния резервуаров вертикальных стальных // ТехНАДЗОР. 2016. № 3(112). С. 40–41.
  4. Leica FlexLine TS02/TS06/TS09. User manual. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland,
- 2009. 342 p.
  - 5. AutoCAD 2013. User's Guide. San Ravel: Autodesk, 2012. 872 p.
  - 6. Поклад Г. Г., Гриднев С. П. Геодезия. М.: Академический проект, 2007. 592 с.
  - 7. Букринский В. А. Геометрия недр. М.: Горная книга, 2016. 550 с.
- 8. Маркшейдерское дело / Д. Н. Оглоблин [и др.]. М: Недра, 1981. 704 с. 9. Koutromanos Ioannis. Fundamentals of finite element analysis: linear finite element analysis. NY: Wiley, 2017. 715 p.
- 10. Елманов Г. Н., Исаенкова М. Г., Смирнов Е. А. Физические свойства металлов и сплавов. М.: МИФИ, 2014. 136 с.
- 11. Шутов В. Е., Сенцов С. И. Руководство к проведению лабораторных работ по дисциплине
- «Механика грунтов». М.: РГУ нефти и газа, 2002. 74 с. 12. Барулин А. И., Рахимов З. Р. Оценка устойчивости откосов слабых горных пород методом конечных элементов // Труды университета. 2006. № 4. С. 26–31.
  - 13. Бате К.-Ю. Методы конечных элементов. М.: Физматлит, 2010. 1024 с.
- 14. Барулин А. И. Деформирование пород отвала при разгрузке автосамосвала под откос // Известия вузов. Горный журнал. 2013. № 3. С. 60–68.
- 15. Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S. Engineering analysis with ANSYS Software. Butterworth-Heinemann: Elsivier, 2018. 553 p.

Поступила в редакцию 9 июня 2021 года

#### Сведения об авторах:

Барулин Александр Иванович - кандидат технических наук, доцент кафедры металлургии и горного дела Рудненского индустриального института. E-mail: barulinai@mail.ru; https://orcid. org/0000-0002-8297-4065

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-7-69-79

# Mine surveying technique and steel storage tank base deformation removal

# Aleksandr I. Barulin 1

Rudny Industrial Institute, Rudny, Kostanai region, Republic of Kazakhstan.

## Abstract

Introduction. Vertical steel tanks are extensively used in oil fields to hold crude oil and other liquids. Their construction requires continuous surveying control. However, measurement procedures, data processing, and deviations and documentation correction are not universal and cannot be applied for tanks with a capacity of less than 3000 m<sup>3</sup>. Moreover, the process of correcting the detected bottom irregularities is poorly substantiated and intuitive.

**Research objective** is to improve the as-built survey accuracy and reliability of the low-capacity steel tank bottom, substantiate the minimum height of its irregularities, increase the objectivity and productivity of measurement processing, develop an unambiguous method for time-predictable correction of bottom irregularities, and substantiate the optimal contents of its relief's as-built scheme.

**Methods of research.** Geometric leveling for the bottom profile survey failed to provide adequate accuracy and was therefore replaced by the method of trigonometric leveling. A method has been developed for determining the deviations of the existent tank bottom profile from the design position by means of algebraic actions with surfaces of a topographic order. The accuracy of determining the smallest height of bottom irregularities has been estimated under the tacheometric survey. A method has been proposed for controlling the correction of tank bottom irregularities based on evaluation calculations of bottom deformations by the finite element method.

**Research results.** All the development results are exemplified by a specific production example. It was found that for a full completion of work, two iterations of tank bottom irregularities correction are enough. Methods of optimal design for the facility's as-built schemes are presented.

**Conclusions.** A simple, accurate, low-cost, productive, and time-predictable method of mine surveying, mathematical processing and correction of deviations in the tank bottom profile has been developed. This technique reduces the construction period and increases the operating time of the facility.

**Keywords:** tank; bottom; mapping; measurement processing; correction of deviations; finite element method; as-built scheme.

#### REFERENCES

- 1. Nikolaev N. V. et al. Steel vertical low-pressure oil storage tanks. Tyumen: Akademiia; 2001. (In Russ.)
- 2. Aleshkina A. A., Burkov P. V., Burkova S. P. Studying the state of a vertical steel tank head. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2011; 2: 92–98. (In Russ.)
- 3. Safina I. S., Kauzova P. A., Gushchin D. A. Estimating the technical condition of vertical steel tanks. TekhNADZOR = Technical Supervision. 2016; 3(112): 40–41. (In Russ.)
- 4. Leica FlexLine TS02/TS06/TS09. User manual. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, 2009. 342 p.
  - 5. AutoCAD 2013. User's Guide. San Ravel: Autodesk, 2012. 872 p.
  - 6. Poklad G. G., Gridnev S. P. Geodesy. Moscow: Akademicheskii proekt Publishing; 2007. (In Russ.)
  - 7. Bukrinskii V. A. Subsoil geometry. Moscow: Gornaia kniga Publishing; 2016. (In Russ.)
  - 8. Ogloblin D. N. et al. Mine surveying. Moscow: Nedra Publishing; 1981. (In Russ.)
- 9. Koutromanos Ioannis. Fundamentals of finite element analysis: linear finite element analysis. NY: Wiley, 2017. 715 p.
- 10. Elmanov G. N., Isaenkova M. G., Smirnov E. A. *Physical properties of metals and alloys*. Moscow: MEPhI Publishing; 2014. (In Russ.)
- 11. Shutov V. E., Sentsov S. I. *Guidelines on laboratory research in "Mechanics of Soil*". Moscow: National University of Oil and Gas Publishing; 2002. (In Russ.)
- 12. Barulin A. I., Rakhimov Z. R. Slope stability analysis of soft rock by the finite element method. *Trudy universiteta = Proceedings of the University*. 2006; 4: 26–31. (In Russ.)
  - 13. Bathe K. J. Finite element procedures. Moscow: Fizmatlit Publishing; 2010. (In Russ.)
- 14. Barulin A. I. Deformation of rocks under the machines unloaded at the slant. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii*. *Gornyi zhurnal* = *News of the Higher Institutions*. *Mining Journal*. 2013; 3: 60–68. (In Russ.)
- 15. Stolarski T., Nakasone Y., Yoshimoto S. *Engineering analysis with ANSYS Software*. Butterworth-Heinemann: Elsivier, 2018. 553 p.

Received 9 June 2021

#### **Information about authors:**

**Aleksandr I. Barulin** – PhD (Engineering), associate professor of the Department of Metallurgy and Mining, Rudny Industrial Institute. E-mail: barulinai@mail.ru; https://orcid.org/0000-0002-8297-4065

**Для цитирования:** Барулин А. И. Методика маркшейдерской съемки и устранения деформаций днища стальных резервуаров // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 7. С. 69–79. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-7-69-79

**For citation:** Barulin A. I. Mine surveying technique and steel storage tank base deformation removal. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* = *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 7: 69–79 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-7-69-79